



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

SINTESIS NANOKOMPOSIT PANI/TiO₂/KARBON SEBAGAI PENYERAP GELOMBANG MIKRO

SKRIPSI



**ARASI SYAMSIR
0810442019**

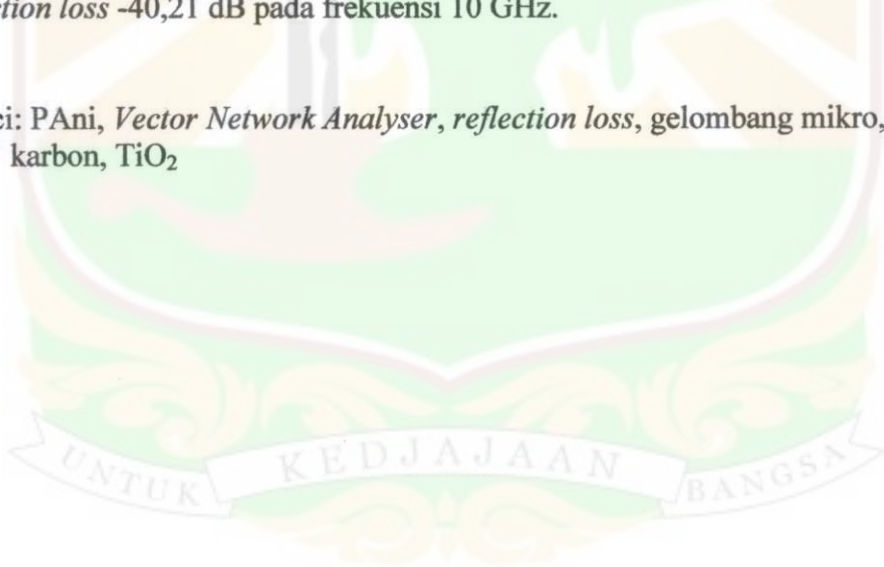
**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG 2012**

SINTESIS NANOKOMPOSIT PAni/TiO₂/KARBON SEBAGAI PENYERAP GELOMBANG MIKRO

ABSTRAK

Penelitian tentang sintesis nanokomposit PAni/TiO₂/Karbon sebagai penyerap gelombang mikro telah dilakukan. *Polyaniline* (PAni) disintesis dengan metode polimerisasi oksidasi secara kimia, sedangkan serbuk karbon disintesis dari bahan baku tempurung kelapa. Karbon dan TiO₂ berperan sebagai pengisi magnetik dan pengisi dielektrik pada matriks PAni. Karakterisasi sifat listrik, sifat magnet dan daya serap material terhadap gelombang mikro berturut-turut dilakukan dengan alat LCR meter TH2820, *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* dan *Vector Network Analyser* model Advantest. Hasil uji LCR meter menunjukkan bahwa konduktivitas PAni/TiO₂/Karbon meningkat berdasarkan penambahan TiO₂ dan karbon. Sedangkan dari *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* diketahui bahwa sampel memiliki sifat diamagnetik karena nilai suseptibilitasnya negatif. PAni/TiO₂/Karbon dengan penambahan TiO₂/Karbon 40% merupakan sampel yang paling optimum menyerap gelombang mikro dengan nilai absorpsi 99,52% dan *reflection loss* -40,21 dB pada frekuensi 10 GHz.

Kata kunci: PAni, *Vector Network Analyser*, *reflection loss*, gelombang mikro, karbon, TiO₂

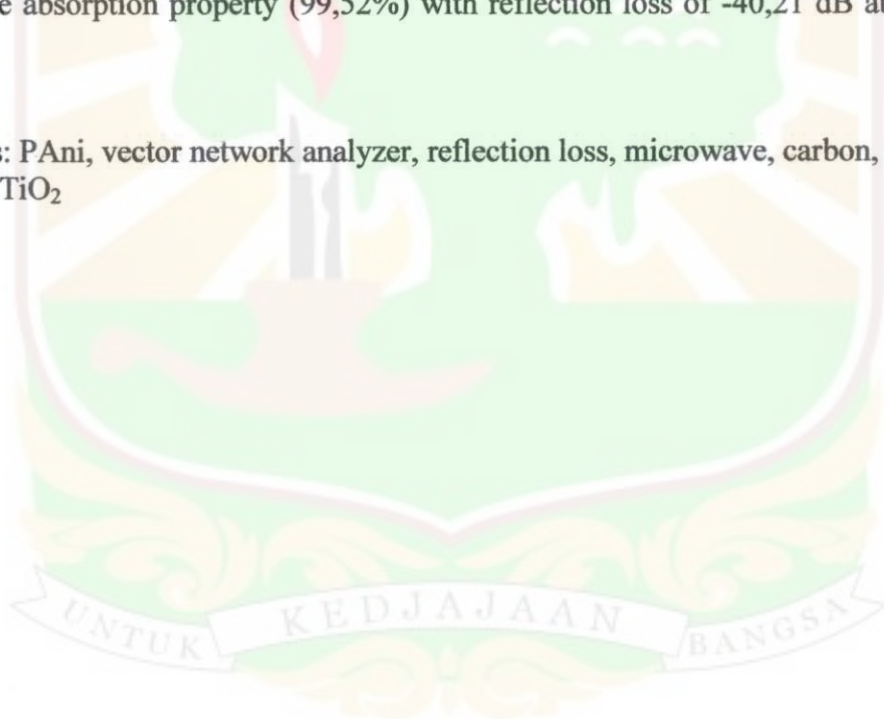


SYNTHESIS OF PAni/TiO₂/CARBON NANOCOMPOSITES AS MICROWAVE ABSORBER

ABSTRACT

The research about synthesis PAni/TiO₂/carbon nanocomposites as microwave absorber has been done. The polyanilines (PAni) were synthesized by using oxidation polymerization methode. The carbons were synthesized from coconut shell. Carbon are the magnetic filler. For the dielectric filler are used TiO₂. Characterization of electric, magnetic and microwave absorbtion properties were investigated by LCR meter, magnetic susceptibility meter and vector network analyzer, respectively. The LCR meter result showed that the conductivity of PAni/TiO₂/carbon were increased with the addition of TiO₂ and carbon. Magnetic susceptibility measurement showed that PAni/TiO₂/carbon were diamagnetic material. PAni/TiO₂/carbon with 40% TiO₂ and carbon exhibits the best microwave absorption property (99,52%) with reflection loss of -40,21 dB at 10 GHz.

Keywords: PAni, vector network analyzer, reflection loss, microwave, carbon, TiO₂



KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul Sintesis Nanokomposit PAni/TiO₂/Karbon Sebagai Penyerap Gelombang Mikro ini. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa ummatnya dari zaman kebodohan sampai ke zaman yang penuh ilmu pengetahuan seperti saat ini.

Skripsi ini ditulis untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar sarjana sains pada Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas. Selesaiannya penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu Astuti, M.Si selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan, motivasi dan masukan dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Bapak DR. Elvaswer, Ibu Sri Handani, M.Si, dan Bapak Ardian Putra, M.Si selaku tim penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat bermanfaat dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Afdal, M.Si selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memotivasi penulis selama kuliah.
4. Ketua jurusan Fisika dan seluruh staf pengajar yang telah berbagi ilmu, pemahaman dan pengalamannya, serta seluruh pegawai akademis

dilingkungan jurusan Fisika atas segala kemudahan dan bantuan yang telah diberikan.

5. Bapak DR. Dahyunir Dahlan sebagai Kepala Lab. Material yang telah memfasilitasi penulis selama penelitian.
6. Kedua orang tua serta seluruh anggota keluarga besar penulis yang telah memberikan bantuan materil, semangat dan motivasi yang sangat besar kepada penulis.
7. Teman-teman laskar fisika 08 yang telah membantu dan memberi motivasi kepada penulis selama penelitian ini.
8. Dan semua pihak yang membantu penulis untuk menyelesaikan studi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar skripsi ini menjadi lebih baik. Mudah-mudahan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca maupun penulis sendiri.

Padang, Agustus 2012

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.3 Manfaat	4
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Polimer Konduktif	5
2.2 Polianilin (PANi)	6
2.3 Titanium Dioksida (TiO ₂)	8
2.4 Karbon	10
2.5 Sifat Listrik	11
2.6 Penyerap Gelombang Mikro	13
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan	17
3.2.1 Alat	17
3.2.2 Bahan	18
3.3 Prosedur Kerja	19
3.3.1 Pembuatan Serbuk PANi	19
3.3.2 Pembuatan Serbuk Karbon	19

3.3.3 Penambahan Nanopartikel TiO_2	20
3.4 Karakterisasi	21
3.4.1 LCR Meter	21
3.4.2 <i>Magnetic Susceptibility Meter</i>	22
3.4.3 <i>Vector Network Analyzer</i>	24
3.5 Diagram Alir Penelitian	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Karakterisasi Sifat Magnet dengan <i>Magnetic Susceptibility Meter</i>	26
4.2 Karakterisasi Sifat Listrik dengan LCR Meter	27
4.3 Karakterisasi Absorpsi Bahan terhadap Gelombang Mikro dengan <i>Vector Network Analyzer</i>	30
4.3.1 Nilai <i>Reflection Loss</i> dan Absorpsi Pada Sampel A.....	31
4.3.2 Nilai <i>Reflection Loss</i> dan Absorpsi Pada Sampel B.....	32
4.3.3 Nilai <i>Reflection Loss</i> dan Absorpsi Pada Sampel C.....	34
4.3.4 Nilai <i>Reflection Loss</i> dan Absorpsi Pada Sampel D.....	35
4.3.5 Nilai <i>Reflection Loss</i> dan Absorpsi Pada Sampel E.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran.....	41
DAFTAR KEPUSTAKAAN	42
LAMPIRAN-LAMPIRAN	44

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur polianilin (PAni) secara umum	6
Gambar 2.2 Struktur molekul PAni protonasi dan deprotonasi	8
Gambar 2.3 Struktur kristal TiO_2 pada fase anatase dan rutil	9
Gambar 2.4 Spektrum konduktivitas listrik dan resistivitas	13
Gambar 2.5 Peristiwa gelombang mikro yang mengenai material	13
Gambar 2.6 Jalannya gelombang elektromagnetik pada material anti radar	14
Gambar 3.1 LCR Meter TH2820	22
Gambar 3.2 <i>Magnetic Susceptibility Meter</i>	23
Gambar 3.3 <i>Vector Network Analyzer</i>	24
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian	25
Gambar 4.1 Grafik hubungan nilai konduktivitas sampel dan penambahan TiO_2 /karbon	29
Gambar 4.2 Grafik hubungan frekuensi dan <i>reflection loss</i> (RL) sampel A	31
Gambar 4.3 Grafik hubungan frekuensi dan absorpsi pada sampel A	32
Gambar 4.4 Grafik hubungan frekuensi dan <i>reflection loss</i> (RL) sampel B	33
Gambar 4.5 Grafik hubungan frekuensi dan absorpsi pada sampel B	33
Gambar 4.6 Grafik hubungan frekuensi dan <i>reflection loss</i> (RL) sampel C	34
Gambar 4.7 Grafik hubungan frekuensi dan absorpsi pada sampel C	34
Gambar 4.8 Grafik hubungan frekuensi dan <i>reflection loss</i> (RL) sampel D	35
Gambar 4.9 Grafik hubungan frekuensi dan absorpsi pada sampel D	35
Gambar 4.10 Grafik hubungan frekuensi dan <i>reflection loss</i> (RL) sampel E	36
Gambar 4.11 Grafik hubungan frekuensi dan absorpsi pada sampel E	36

DAFTAR TABEL

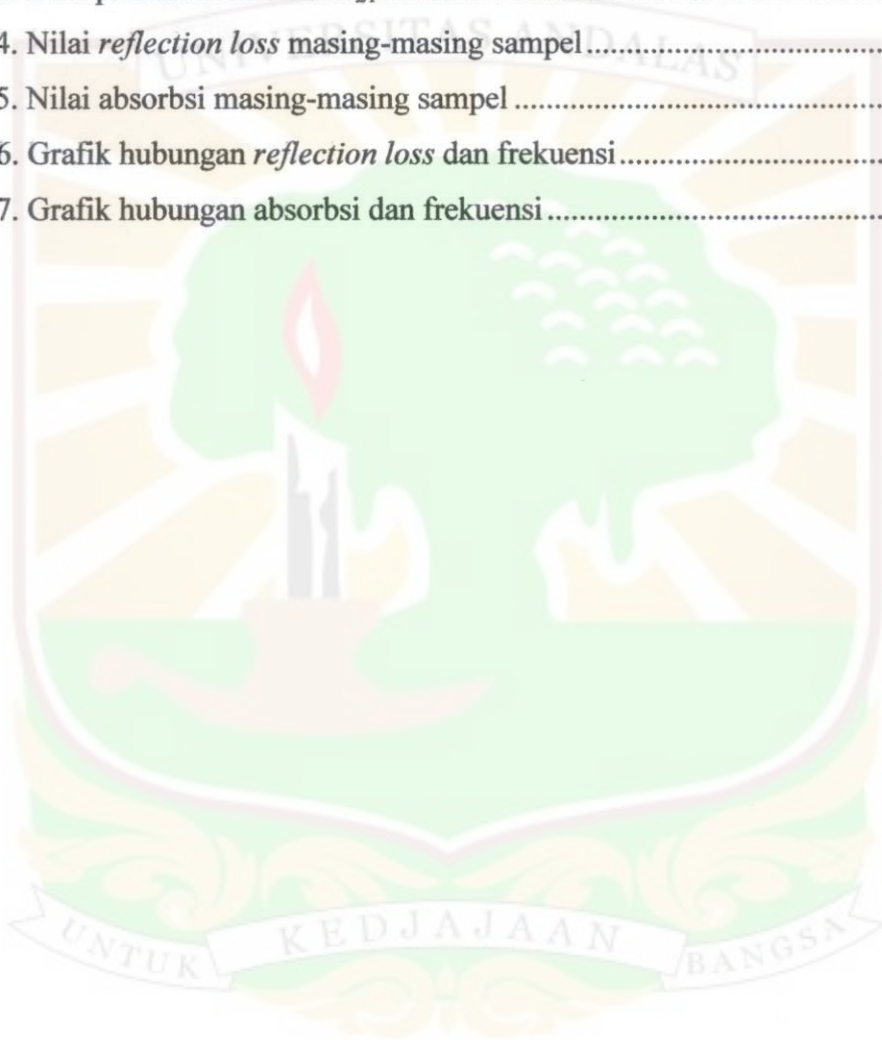
	Halaman
Tabel 2.1 Perbandingan sifat tempurung kelapa dan arangnya.....	10
Tabel 3.1 Komposisi PAni, TiO ₂ dan karbon pada masing-masing sampel	20
Tabel 4.1 Data pengukuran suseptibilitas magnet.....	26
Tabel 4.2 Nilai Konduktivitas PAni dan PAni/TiO ₂ /karbon.....	27
Tabel 4.3 Nilai Absorpsi dan <i>Reflection Loss</i> Maksimum Pada masing-masing Sampel.....	37



DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Hasil pengukuran <i>magnetic susceptibility meter</i>	45
Lampiran 2. Data parameter hambur S_{11}	47
Lampiran 3. Data parameter hambur S_{21}	50
Lampiran 4. Nilai <i>reflection loss</i> masing-masing sampel.....	53
Lampiran 5. Nilai absorpsi masing-masing sampel	56
Lampiran 6. Grafik hubungan <i>reflection loss</i> dan frekuensi.....	59
Lampiran 7. Grafik hubungan absorpsi dan frekuensi	60



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir terjadi peningkatan polusi elektromagnetik dalam bentuk *elektromagnetik interference* (EMI), hal ini disebabkan oleh pesatnya perkembangan pada bidang elektronik dan sistem telekomunikasi. Teknologi penyerapan gelombang elektromagnetik merupakan salah satu teknologi yang sedang pesat dikembangkan untuk mengontrol masalah yang ditimbulkan oleh *elektromagnetik interference* (EMI). Selain sebagai *shielding* EMI teknologi ini juga telah melahirkan sebuah material baru yaitu *Radar Absorbing Material* (RAM), salah satu aplikasi material ini yaitu pada bidang militer. Material ini bersifat meredam pantulan atau menyerap gelombang mikro sehingga benda yang dilapisi dengan RAM tidak terdeteksi oleh *Radio Detection and Ranging* (RADAR). Penyerap gelombang mikro terdiri dari dua komponen, penyerap dielektrik dan penyerap magnetik untuk itu perlu dikembangkan material yang dapat menyerap dielektrik dan menyerap magnetik.

Berbagai penelitian dalam rangka mengembangkan *Radar Absorbing Material* (RAM) semakin banyak dilakukan. Salah satunya adalah penelitian tentang penggunaan polimer konduktif untuk meningkatkan kualitas RAM. Kaynak (1996) dalam Phang dkk. (2008) menyatakan polimer konduktif memiliki sifat khusus dibandingkan logam yaitu polimer ini bersifat lebih sedikit merefleksikan gelombang elektromagnetik dan daya serapnya lebih tinggi.

Polianilin (PAni) merupakan salah satu polimer konduktif yang menarik karena PAni memiliki sifat yang unik antara lain memiliki stabilitas termal yang baik dan konduktivitas yang tinggi pada frekuensi gelombang mikro. Jika dibandingkan dengan polimer konduktif lainnya polianilin (PAni) lebih mudah disintesis baik secara elektrokimia maupun secara kimia. Chuang dalam Phang 2008 mengatakan kombinasi polianilin (PAni) dengan bahan organik atau anorganik lain dapat menghasilkan bahan fungsional baru yang tidak hanya meningkatkan sifat mekanik tetapi juga sifat lain tergantung material yang ditambahkan. Folgueras dkk. (2007) telah meneliti tentang efek impregnasi serat karbon dengan polimer konduktif PAni terhadap penyerapan gelombang mikro. Dari penelitian ini didapatkan bahwa kuantitas impregnasi material berpengaruh terhadap penyerapan gelombang mikro. Daya serap bahan terhadap radiasi yaitu mencapai 87%.

Phang dkk. (2008) juga melakukan penelitian tentang sintesis, karakterisasi dan penyerapan gelombang mikro nanokomposit PAni dengan *filler* nanopartikel TiO_2 dan *carbon nanotube* (CNT). TiO_2 sebagai *dielectric filler* dan *carbon nanotube* seperti *single-walled carbon nanotube* (SWNT) dan *multi-walled carbon nanotube* (MWNT) sebagai *magnetic filler*. Dari penelitian ini diperoleh bahwa penambahan SWNT berpengaruh terhadap magnetisasi, dielektrik dan konduktivitas PAni. PAni/HA/ TiO_2 /SWNT dengan komposisi SWNT 20% adalah penyerap gelombang mikro yang terbaik yaitu dengan serapan ~99,2%.

Pada penelitian ini polianilin (PAni) akan dikombinasikan dengan nanopartikel titanium dioksida (TiO_2) dan nanopartikel karbon dari tempurung kelapa. Titanium dioksida (TiO_2) berfungsi sebagai *dielectric filler* dan karbon sebagai *magnetic filler*. TiO_2 merupakan bahan keramik yang memiliki nilai kelistrikan yang rendah dan dapat berfungsi sebagai bahan anti korosi. Selain itu titanium dioksida (TiO_2) tidak beracun dan mudah disintesis. Sedangkan karbon adalah material semikonduktor yang cocok digunakan sebagai material yang dapat mengubah energi gelombang mikro menjadi energi panas karena hambatan yang terdapat pada karbon (Mustafa, 2007). Karbon yang berasal dari tempurung kelapa memiliki kualitas yang lebih baik dari bahan lain, salah satunya yaitu kadar abunya rendah. Selain itu bahan baku pembuatan karbon ini juga mudah didapatkan.

Nanokomposit PAni/ TiO_2 /Karbon didapatkan melalui beberapa tahap, tahap pertama yaitu pembuatan serbuk PAni, tahap kedua pembuatan serbuk karbon dari tempurung kelapa, selanjutnya PAni dicampur dengan bahan TiO_2 dan karbon sehingga diperoleh nanokomposit PAni/ TiO_2 /Karbon. Setelah itu nanokomposit PAni/ TiO_2 /Karbon akan dikarakterisasi sifat listrik, sifat magnet dan serapannya terhadap gelombang mikro berturut-turut menggunakan LCR meter, *magnetic susceptibility meter* dan *Vector Network Analyzer (VNA)*. Nanokomposit PAni/ TiO_2 /Karbon diharapkan dapat diaplikasikan sebagai material penyerap gelombang mikro atau anti radar.

1.2 Tujuan

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan antara lain :

1. Mensintesis polianilin (PAni) dengan titanium dioksida (TiO_2) dan karbon untuk mendapatkan material penyerap gelombang mikro.
2. Menganalisis pengaruh penambahan nanopartikel TiO_2 dan karbon pada polimer konduktif PAni melalui penghitungan konduktivitas listrik, pengukuran suseptibilitas magnetik dan daya serapnya terhadap gelombang mikro.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan pembatasan masalah yaitu:

1. Komposisi penambahan nanopartikel TiO_2 pada polimer konduktif PAni divariasikan dari 10% sampai 50%.
2. Penambahan nanopartikel karbon divariasikan dari 10% sampai 50%.
3. Karakterisasi sifat listrik dan sifat magnet diuji dengan LCR meter dan *susceptibility* meter. Sedangkan daya serap bahan terhadap gelombang mikro diuji menggunakan *Vector Network Analyser*.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi tentang sifat listrik, sifat magnet dan daya serap nanokomposit PAni/ TiO_2 /Karbon terhadap gelombang mikro agar nanokomposit tersebut dapat diaplikasikan sebagai material anti radar.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Polimer Konduktif

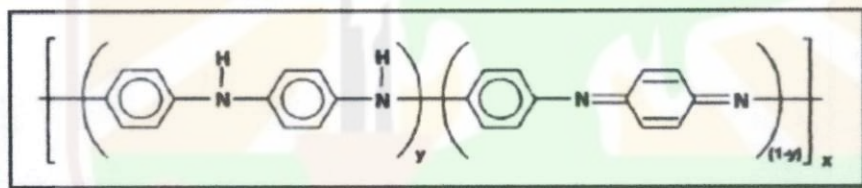
Pada umumnya polimer merupakan golongan material yang bersifat non konduktif. Namun, penelitian di bidang polimer telah berhasil menemukan beberapa polimer yang bersifat konduktif maupun semikonduktif. Polimer konduktif mulai terkenal pada tahun 2000 ketika Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid dan Hideki Shirakawa diberikan penghargaan nobel dalam bidang kimia untuk penemuan dan pengembangan polimer konduktif. Polimer konduktif menghasilkan arus dengan cara yang sama seperti logam, elektron bebasnya bergerak menyearah untuk menghasilkan arus (Fuller, 2009). Penemuan polimer konduktif telah melahirkan penelitian yang intensif yang menunjukkan sifat-sifat elektrik pada polimer yang berkisar dari tidak dapat menghantar, semi konduktif sampai konduktif. Polimer konduktif mudah dalam proses sintesis, sangat menarik karena stabil terhadap lingkungan dan bahan baku kimianya tersedia di pasaran dalam negeri.

Polimer konduktif adalah polimer terkonjugasi yang menunjukkan perubahan ikatan tunggal dan ganda antara atom-atom karbon pada rantai utama polimer. Ikatan ganda diperoleh dari karbon yang memiliki empat elektron valensi, namun pada molekul terkonjugasi hanya memiliki tiga (kadang-kadang dua) atom lain. Suatu zat dapat bersifat polimer konduktif jika mempunyai ikatan rangkap yang terkonjugasi. Contoh dari polimer terkonjugasi adalah plastik

(polyethylen), sedangkan polimer konduktif antara lain : *polyacetilen*, *polytiopen*, *polyaniline* dan lain lain.

2.2 Polianilin (PAni)

Polianilin (PAni) pertama kali dilaporkan secara resmi pada tahun 1862 meskipun beberapa orang meyakini bahwa laporan pertama muncul pada tahun 1840 ketika seseorang bernama Fritzsche menemukan minyak bening yang disebut sebagai *aniline*. Polianilin (PAni) merupakan jenis polimer konduktif yang terbentuk dari monomer anilin ($C_6H_5NH_2$). Struktur molekul polianilin (PAni) secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur polianilin (PAni) secara umum
(Sumber: Safriani dkk., 2003)

Polianilin (PAni) merupakan polimer konduktif yang memiliki ikatan rantai terkonjugasi. Pada Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa PAni mempunyai dua gugus berulang, gugus tereduksi dan gugus teroksidasi. Gugus tersebut mengandung molekul-molekul berbentuk cincin benzoid dan cincin kunoid yang dihubungkan satu sama lain oleh atom nitrogen melalui ikatan amin dan imin.

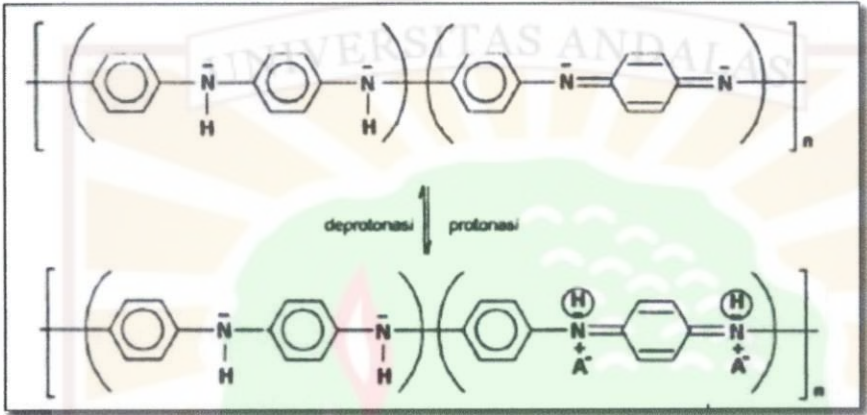
Polianilin bisa disintesis dengan menggunakan metode kimia dan elektrokimia. Sintesis kimia bisa dilakukan dengan menggunakan monomer

anilin, asam dan oksidan. Asam yang biasa digunakan adalah asam klorida (HCl) dan asam sulfat (H_2SO_4). Sebagai oksidan biasa digunakan *ammonium persulfate* ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$), *potassium dichromate* ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), *cerium sulfate* ($\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$), *sodium vanadate* (NaVO_3), *potassium ferricyanide* ($\text{K}_3(\text{Fe}(\text{CN})_6)$), *potassium iodate* (KIO_3) dan *hydrogen peroxide* (H_2O_2) (Hao, 2003).

Polianilin adalah salah satu polimer yang paling menarik karena memiliki konduktivitas tinggi dan stabilitas yang baik. Berdasarkan sifat listriknya polianilin dibagi menjadi dua yaitu polianilin konduktif dan polianilin isolatif. Berdasarkan tingkat oksidasinya, polianilin dapat disintesis dalam beberapa bentuk isolatifnya yaitu *leucomeraldine base* (LB) yang tereduksi penuh, *emeraldine base* (EB) yang teroksidasi setengah dan *pernigranilin base* (PB) yang teroksidasi penuh.

Emeraldine base (EB) merupakan bentuk yang paling stabil dan juga paling luas diteliti karena konduktivitasnya dapat diatur dari 10^{-10} S/cm hingga 100 S/cm melalui proses *doping*, sedangkan bentuk LB dan PB tidak dapat dibuat konduktif. Bentuk EB dapat dibuat konduktif dengan proses *doping* asam protonik seperti HCl. Bentuk konduktif dari EB disebut *emeraldine salt* (ES). Bentuk dasar EB berubah menjadi ES melalui reaksi oksidasi dengan asam-asam protonik seperti HCl. Proses ini disebut proses protonasi, protonasi PAni EB menghasilkan cacat rantai dalam bentuk pasangan dikation dan *dopant* A^- (Safriani dkk, 2003). *Dopant* A^- yang masuk ke dalam polimer akan terikat secara coulomb dengan kation pada rantai PAni, dapat dilihat pada Gambar 2.2. Derajat

konduktivitas *emeraldine* ini bergantung pada tingkat/konsentrasi *dopant* yang diberikan, yaitu jumlah proton (H^+) yang dimasukkan ke dalam struktur *emeraldine*.

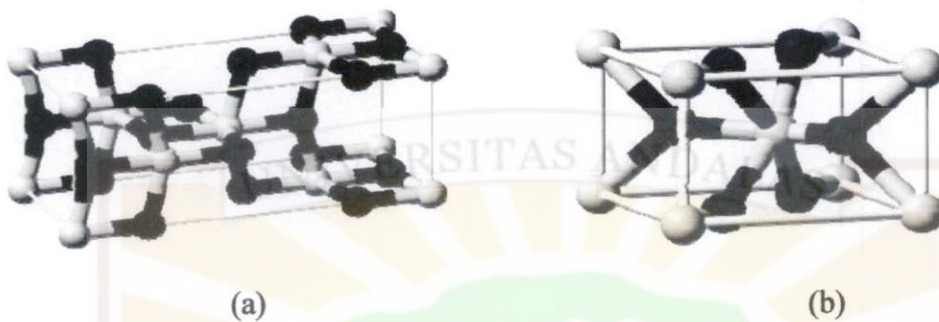


Gambar 2.2 Struktur molekul PAni protonasi dan deprotonasi
(Sumber: Safriani dkk., 2003)

2.3 Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium dioksida (TiO_2) adalah senyawa yang tersusun dari ion Ti^{4+} dan O^{2-} dalam konfigurasi oktahedron. TiO_2 dalam bentuk kristal muncul dengan tiga fase yaitu anatase, rutil dan brokit. Fase brokit dan anatase merupakan bentuk metastabil dan dapat berubah bentuk secara eksotermal ke rutil akibat fungsi termal maupun akibat pengerjaan mekanik pada temperatur kamar (Permana, 2010). Dari ketiga fase tersebut hanya fase anatase dan rutil yang mudah diamati di alam sedangkan fase brokit sulit diamati karena tidak stabil. Perbedaan mendasar antara anatase dan rutil terletak pada susunan dan pola rantai oktahedralnya. Anatase mengalami distorsi ortorombik yang lebih

besar dari rutil sehingga bentuk kristalnya menjadi asimetris. Struktur kristal TiO_2 pada fase anatase dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur kristal TiO_2 pada fase anatase (a) dan fase rutil (b)
(Sumber : Timuda, 2009)

TiO_2 merupakan bahan keramik yang memiliki nilai kelistrikan yang rendah. Titanium dioksida (TiO_2) banyak dipelajari secara luas karena memiliki banyak aplikasi antara lain untuk pigmen, katalis, *filler*, fotodetektor, bahan dielektrik, dan lain-lain. Morfologi lapisan TiO_2 juga menjadi perhatian beberapa peneliti. Morfologi ternyata memberikan pengaruh terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan. Saat ini telah dikembangkan TiO_2 dengan berbagai morfologi antara lain *nanotube*, *nanowire*, *nanofiber*, dll. Penambahan TiO_2 pada polimer konduktif polianilin (PAni) akan meningkatkan sifat dielektrik PAni karena TiO_2 merupakan bahan dielektrik.



2.4 Karbon

Karbon atau zat arang merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol C dan nomor atom 6 pada tabel periodik. Sebagai unsur golongan IV B pada tabel periodik, karbon merupakan unsur non-logam dan bervalensi 4 (tetravalen), yang berarti bahwa terdapat empat elektron yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Karbon merupakan unsur yang berlimpah di bumi dan dibuat menjadi karbon aktif. Karbon aktif adalah karbon yang diproses sedemikian rupa sehingga pori-porinya terbuka, dengan demikian akan mempunyai daya serap yang tinggi. Karbon aktif merupakan karbon yang bebas serta memiliki permukaan dalam, sehingga mempunyai daya serap yang baik. Karbon aktif mengandung 5% sampai 15% air, 2% sampai 3% abu dan sisanya terdiri dari karbon.

Karbon aktif dapat dibuat dari bahan-bahan organik, salah satunya yaitu tempurung kelapa. Mutu karbon aktif yang dihasilkan dari tempurung kelapa mempunyai daya serap tinggi, karena arang ini berpori-pori dengan diameter yang kecil, sehingga mempunyai permukaan internal yang luas. Perbandingan sifat tempurung kelapa dan arangnya dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan sifat tempurung kelapa dan arangnya

Bahan	Komponen	Kandungan (%)	Sifat Termal (kJ/kg)
Tempurung Kelapa	Moisture	10,46	18.388
	Volatile	67,67	
	Karbon	18,29	
	Abu	3,58	
Arang tempurung kelapa	Volatile	10,60	30.570
	Karbon	76,32	
	Abu	13,08	

(Sumber: Budi, 2011)

Dibandingkan dengan komposisi akhir karbon yang berasal dari bahan alami lain seperti tongkol (*cob*) jagung, kulit padi dan cangkang kakao yang berkisar antara (12% sampai 20% C), arang tempurung kelapa memiliki kandungan karbon yang lebih banyak. Proses pembuatan karbon aktif terdiri dari dua tahap yaitu proses karbonasi dan proses aktivasi. Proses karbonisasi sempurna adalah pemanasan bahan baku tanpa adanya udara sampai temperatur yang cukup tinggi untuk mengeringkan dan menguapkan senyawa dalam karbon. Pada proses ini terjadi dekomposisi termal dari bahan yang mengandung karbon, dan menghilangkan spesies non karbonnya. Proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan volume dan memperbesar diameter pori setelah mengalami proses karbonisasi, dan meningkatkan penyerapan. Karbon aktif yang berwarna hitam, tidak berbau, tidak berasa dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif yang belum menjalani proses aktivasi.

Dalam bentuk *allotropic*, karbon aktif tidak mengandung elektron-elektron tak berpasangan. Walaupun demikian, beberapa bahan karbon yang strukturnya tidak beraturan dan mempunyai luas permukaan spesifik total juga besar dilaporkan memperlihatkan sifat-sifat magnetik (Makaropa, 2004). Sifat-sifat magnetik bahan karbon bergantung pada perubahan *allotropic*.

2.5 Sifat Listrik

Sifat listrik material yang sering dibahas salah satunya adalah konduktivitas listrik. Konduktivitas merupakan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Konduktivitas timbul karena elektron bebas bergerak

dalam kisi dan tahanan terjadi akibat hamburan gelombang oleh ketidakteraturan dalam susunan kisi. Konduktivitas logam penghantar sangat dipengaruhi oleh unsur-unsur pemadu, pengotor atau ketidaksempurnaan dalam kristal logam, yang ketiganya banyak berperan dalam proses pembuatan penghantar itu sendiri. Unsur-unsur pemadu selain mempengaruhi konduktivitas listrik, akan mempengaruhi sifat-sifat mekanik dan fisika lainnya. Konduktivitas listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.1)$$

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (2.2)$$

dengan, σ : konduktivitas listrik suatu bahan $((\Omega\text{m})^{-1}$ atau S/m)

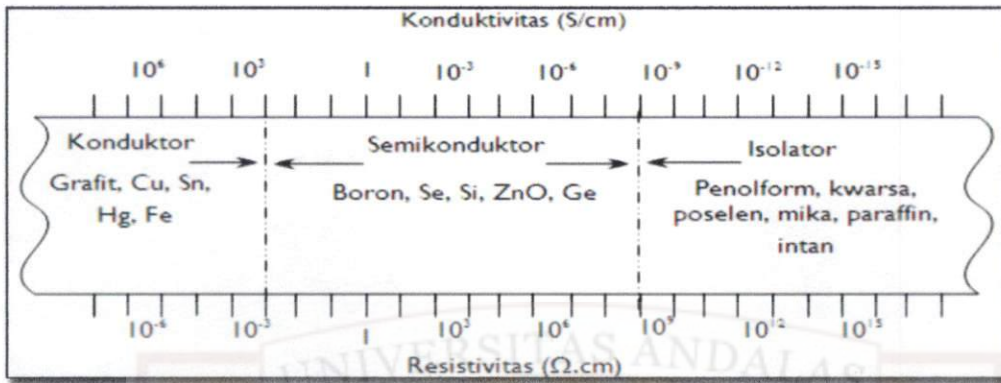
ρ : resistivitas suatu bahan (Ωm)

R : resistansi suatu bahan (Ω)

L : ketebalan sampel (m)

A : luas penampang sampel (m^2).

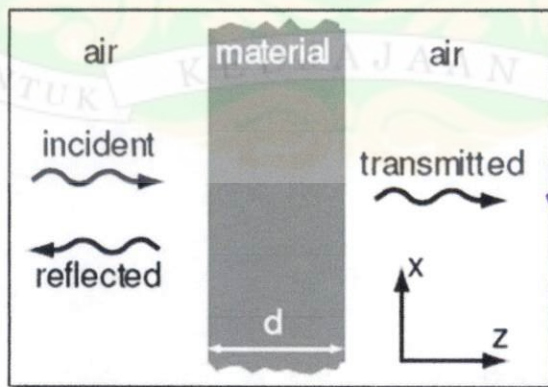
Berdasarkan konduktivitasnya, berbagai material dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian yaitu material konduktor, semikonduktor dan isolator. Variasi skala konduktivitas dan resistivitas untuk ketiga material tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Spektrum konduktivitas listrik dan resistivitas
(Sumber: Mihardi, 2008)

2.6 Penyerap Gelombang Mikro

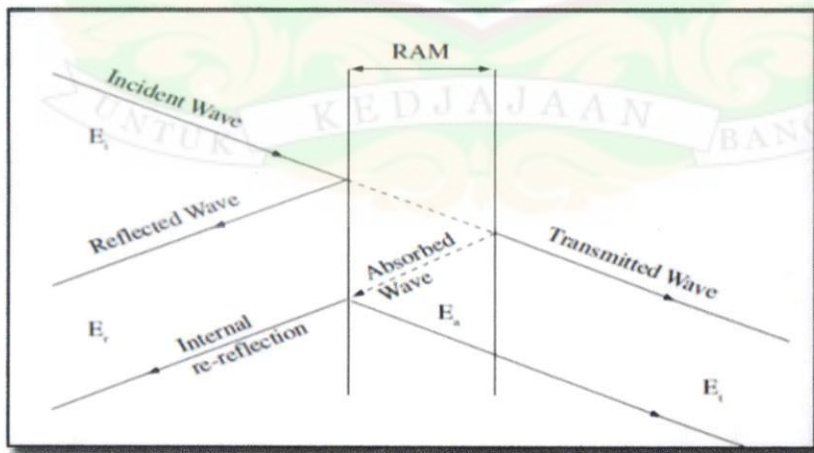
Gelombang mikro (*microwave*) merupakan gelombang elektromagnetik yang bekerja pada kisaran frekuensi 300 MHz (3×10^8 Hz) sampai 300 GHz (3×10^{11} Hz) dengan panjang gelombang berkisar antara 1 mm–1 m (Yuniarti, 2008). Setiap gelombang mikro yang datang pada suatu material, maka gelombang tersebut akan direfleksikan, diserap atau ditransmisikan, seperti yang terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Peristiwa gelombang mikro yang mengenai material
(Sumber : Shi, 2009)

Jika gelombang mikro diserap oleh sebuah benda, maka akan muncul efek pemanasan pada benda itu. Salah satu aplikasi gelombang mikro yaitu pada RADAR (*Radio Detection and Ranging*). Pesawat RADAR memanfaatkan sifat pemantulan gelombang mikro. Antena RADAR bertindak sebagai pemancar dan penerima gelombang, jika gelombang mikro dari pemancar mengenai sebuah objek maka gelombang tersebut akan dipantulkan kembali dan diterima oleh penerima, sehingga objek tersebut akan terdeteksi oleh RADAR.

Perkembangan teknologi dalam beberapa tahun terakhir telah menciptakan sebuah teknologi baru yang dapat menandingi RADAR yaitu *Radar Absorbing Material* (RAM). Teknologi ini memanfaatkan prinsip penyerapan atau pelemahan gelombang mikro. Gelombang mikro yang diterima oleh objek yang dilapisi RAM tidak dipantulkan melainkan diserap sehingga objek tidak akan terdeteksi oleh RADAR. Energi yang diserap oleh RAM akan diubah menjadi energi panas. Jalannya gelombang mikro pada RAM dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Jalannya gelombang elektromagnetik pada material anti radar
(Sumber: Folgueras, dkk., 2007)

Pelemahan energi gelombang mikro terjadi karena *dielectric loss* dan/atau *magnetic loss* pada penyerap gelombang mikro. *Dielectric loss* didapatkan dalam komponen imajiner dari permitivitas kompleks dan bekerja pada medan listrik. *Magnetic loss* ditemukan dalam komponen imajiner dari permeabilitas kompleks dan bekerja pada medan magnet (Mustafa, 2007). Permitivitas kompleks dan permeabilitas kompleks bahan penyerap adalah parameter dasar yang mencerminkan interaksi antara gelombang elektromagnetik dan bahan (Abdullah dkk, 2012).

Absorpsi bahan terhadap gelombang mikro dihitung berdasarkan parameter hambur (*scattering parameter*) dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$A = 1 - S_{11}^2 - S_{21}^2 \quad (2.3)$$

Persamaan 2.3 menggambarkan hubungan kekekalan energi, angka satu pada ruas kanan menyatakan *incident energy*, sedangkan parameter hambur S_{11} merupakan koefisien pantul yang diperoleh dari hasil pengukuran *Vector Network Analyser* untuk *port-1*. Parameter hambur S_{21} menyatakan koefisien transmisi yang diperoleh dari *port-2*. Untuk mempelajari penyerapan gelombang mikro nilai *reflection loss* (RL) pada sampel juga dihitung, yaitu dengan menggunakan persamaan 2.4.

$$RL \text{ (dB)} = 20 \text{ Log } |S_{11}| \quad (2.4)$$

Nilai RL dapat digunakan untuk memprediksi absorpsi material terhadap gelombang mikro, semakin besar nilai negatif RL maka diprediksi nilai absorpsi material tersebut juga semakin besar. Nilai RL mengindikasikan peristiwa

penyerapan atau pemantulan minimal energi gelombang elektromagnetik (Phang, dkk., 2008). Pada penyerapan gelombang mikro RL berhubungan dengan frekuensi, ketebalan sampel, permitivitas dan permeabilitas relatif kompleks.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan Maret 2012, secara umum penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas. Sedangkan untuk karakterisasi daya serap bahan menggunakan *Vector Network Analyser* dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Kertas saring *whatman* digunakan untuk menyaring larutan.
2. Gelas kimia digunakan sebagai tempat untuk melarutkan zat.
3. Oven digunakan untuk mengeringkan sampel.
4. *Hot Plate Magnetic Stirrer* IKA C-MAG HS 7 digunakan untuk mengaduk dan memanaskan larutan.
5. Timbangan digital PGW 2502i sebagai alat untuk mengukur masa bahan yang digunakan dalam penelitian.
6. Logam penjepit adalah alat yang digunakan untuk menjepit tabung reaksi pada saat pemanasan dan untuk membantu pengambilan sampel lain pada kondisi panas.

7. Pipet tetes digunakan untuk mengambil bahan yang berbentuk larutan dalam jumlah kecil.
8. Spatula adalah alat yang berbentuk sendok kecil, pipih dan bertangkai yang digunakan sebagai alat pengambil bahan berbentuk padatan atau serbuk.
9. Cawan petri digunakan sebagai wadah pelarut zat.
10. *Alumina Crucible* digunakan sebagai wadah saat sampel dipanaskan di dalam oven.
11. *Furnace* digunakan untuk mengeringkan sampel.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian adalah :

1. Monomer Anilin ($C_6H_5NH_2$) sebanyak 50 ml sebagai bahan untuk membuat Polianilin (PAni).
2. Alkohol 70 % sebanyak 100 ml.
3. Asam klorida (HCL) 99 % sebanyak 70 ml digunakan untuk campuran monomer anilin.
4. Aseton 97 % digunakan untuk mencuci endapan polianinin.
5. Aquades 100 ml untuk mencuci endapan polianilin.
6. Methanol digunakan untuk mencuci endapan polianilin.
7. Amonium peroksidisulfat ($(NH)_4S_2O_8$) sebanyak 6 gram digunakan sebagai campuran pada larutan HCl.
8. Serbuk TiO_2 digunakan sebagai *filler* polimer konduktif PAni.
9. Tempurung kelapa sebagai bahan dasar pembuatan serbuk karbon.

10. PEG-4000 untuk membuat serbuk karbon.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Pembuatan Serbuk PA_{ni}

Serbuk PA_{ni} dapat disintesis melalui metode polimerisasi oksidasi secara kimia. Metode oksidasi kimia merupakan metode sintesis yang sederhana pada suhu ruang dan menghasilkan PA_{ni} dalam skala besar. Sintesis PA_{ni} yang dilakukan berdasarkan penelitian Phang (2008) dan Prastiwi (2011) yaitu dengan cara mencampurkan 50 mL asam klorida (HCl) 1 M dengan 2 mL monomer anilin (C₆H₅NH₂) menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Sementara itu dalam waktu yang bersamaan 6 gr Ammonium Peroksidisulfat ((NH₄)₂S₂O₈) dilarutkan dalam 50 ml HCL 1 M dan diaduk selama 1 jam. Kedua larutan tersebut dicampurkan ke dalam satu wadah kimia, kemudian diaduk dan didiamkan selama 4 jam, setelah itu didinginkan selama 24 jam. Reaksi telah selesai ditandai dengan terbentuknya endapan berwarna hijau, kemudian endapan tersebut disaring dan dicuci dengan aquades, aseton dan methanol masing-masing 3 kali. Hasil endapan tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu 80° C selama 2 jam.

3.3.2 Pembuatan Serbuk Karbon

Serbuk karbon yang akan dibuat berasal dari tempurung kelapa. Pembuatannya yaitu dengan cara karbonisasi, tempurung kelapa yang sudah tua dibersihkan dari serabut-serabutnya dan dikeringkan di bawah matahari selama 2 hari agar kandungan airnya berkurang. Setelah itu tempurung kelapa tersebut dipecahkan sampai terbentuk kepingan-kepingan kecil. Kepingan-kepingan

tersebut dibakar dalam oven pada suhu 400° C selama 3 jam. Karbon yang sudah terbentuk dihaluskan dengan lumpang, untuk mendapatkan serbuk karbon digunakan *polyethilen glicol* (PEG-4000). PEG-4000 yang berbentuk padat dipanaskan dan dilelehkan sebanyak 10 gram pada suhu 40° C selama 15 menit. PEG yang sudah mencair ditambahkan ke dalam karbon yang sudah dihaluskan dengan perbandingan komposisi antara PEG dan karbon yaitu 1 berbanding 5, kemudian diaduk sehingga berbentuk pasta. Pasta tersebut dikeringkan dalam *furnace* pada suhu 300° C selama 3 jam. Pasta yang sudah kering digerus dengan lumpang sampai terbentuk serbuk karbon yang lebih halus.

3.3.3 Penambahan nanopartikel TiO₂ dan karbon pada *polyanilin* (PAni)

Setelah mendapatkan serbuk PAni dan serbuk karbon tahapan selanjutnya adalah menambahkan nanopartikel TiO₂ dan karbon pada *polyanilin* (PAni). Komposisi PAni, TiO₂ dan karbon pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi PAni, TiO₂ dan karbon pada masing-masing sampel

No	Sampel	Massa PAni (g)	Massa karbon (%)	Massa TiO ₂ (%)
1	A	1	10	10
2	B	1	20	20
3	C	1	30	30
4	D	1	40	40
5	E	1	50	50

Sebelum dikarakterisasi setiap sampel harus dikompaksi dengan menggunakan alat kompaksi manual di Laboratorium Formulasi Sediaan Tablet Fakultas

Farmasi UNAND sehingga hasil akhir yang diperoleh berupa tablet dengan ketebalan 0,3 cm, jari-jari 0,6 cm dan luas penampang $1,1304 \text{ cm}^2$.

3.4 Karakterisasi

3.4.1 LCR Meter

Karakterisasi sifat listrik dilakukan dengan menggunakan alat LCR meter (model TH2820). LCR meter merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengukur induksi, kapasitansi dan resistansi dari suatu bahan. LCR Meter TH 2820 pada pengukuran menggunakan arus AC dengan tegangan masukan (V_{in}) 220 volt. Pada pengukuran ini frekuensi divariasikan dari 100 Hz, 120 Hz dan 1000 Hz. Pengukuran dilakukan dengan cara menjepitkan *port* HD-HS-LD-LS yang terdapat pada LCR meter ke sisi sampel. Dari pengukuran tersebut akan diperoleh nilai resistansi masing-masing sampel. Berdasarkan nilai resistansi, luas penampang dan ketebalan sampel maka dapat dihitung nilai konduktivitas listrik masing-masing sampel yaitu dengan menggunakan persamaan 2.2. Nilai konduktivitas sampel dinyatakan dalam S/cm, korelasi antara satuan Siemens (S) dengan ohm (Ω) adalah sebagai berikut :

$$S = \frac{1}{\Omega} \quad (3.1)$$

Karakterisasi menggunakan LCR Meter dilakukan di Laboratorium Fisika Material, FMIPA, UNAND. Alat LCR meter dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 LCR Meter TH2820

3.4.2 *Magnetic Susceptibility Meter*

Sifat magnet dari sampel dikarakterisasi menggunakan *magnetic susceptibility meter*. *Magnetic susceptibility meter* merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengukur nilai suseptibilitas magnet suatu bahan. Berdasarkan nilai suseptibilitas yang diperoleh dapat ditentukan sifat magnet material yang terkandung pada sampel. Pada penelitian ini *Magnetic susceptibility meter* yang digunakan adalah *Bartington magnetic susceptibility meter* sensor model MS2 dengan *dual frequency* sensor model MS2B yang terdapat di Laboratorium Fisika Bumi Universitas Andalas, seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Magnetic Susceptibility Meter*

Pengukuran suseptibilitas magnet dilakukan dengan cara menghubungkan sensor MS2B dengan MS2 meter kemudian MS2 dihubungkan ke komputer. Setelah itu sampel diletakkan di dalam *container* yang memiliki masa 3,224 g yang terdapat pada sensor MS2B. Sebelum meletakkan sampel, *container* diisi dengan lilin mainan untuk menggantal sampel, karena ukuran container terlalu besar untuk sampel. Langkah-langkah pengukuran adalah sebagai berikut:

1. Klik *file new* pilih *MS2B dual frequency sensor* tekan ok sehingga keluar *MS2B sensor setup*.
2. Masukkan nama di *batch reference* contohnya A, kemudian klik *volume specific* sehingga keluar *container susceptibility corection*, pilih *none (automatic when corrections applicasi)* lalu ok.
3. Setelah memasukkan massa container dan massa sampel, kemudian tekan *sample* maka nilai suseptibilitas sampel akan terbaca pada MS2 meter.
4. Untuk masing-masing sampel dilakukan lima kali pengukuran, kemudian hasil pengukuran tersebut dirata-ratakan.

3.4.3 *Vector Network Analyzer (VNA)*

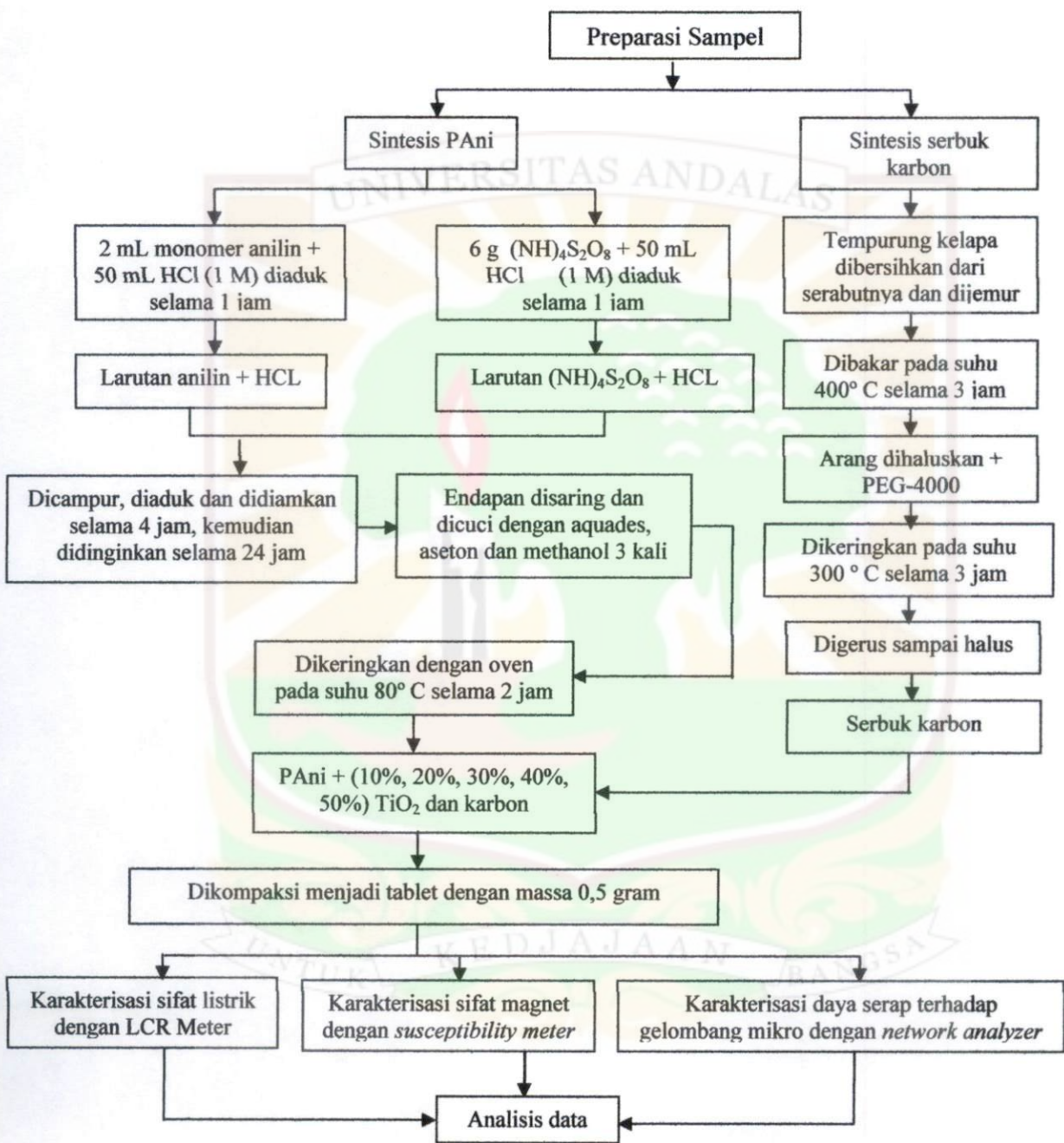
Daya serap bahan terhadap gelombang mikro diukur dengan menggunakan alat *Vector Network Analyzer* (model Advantest) dengan kisaran frekuensi 5,01 GHz sampai 10 GHz. Pada pengukuran ini digunakan pandu gelombang (*waveguide*) yang berukuran 3,5 cm x 1,75 cm. Dari *Vector Network Analyzer* akan diperoleh nilai parameter hambur (*scattering parameter*) S_{11} dan S_{21} . Parameter S_{11} (Lampiran 2) menunjukkan koefisien pantul yang digunakan untuk menghitung nilai *reflection loss*. *Reflection loss* dihitung menggunakan persamaan 2.4. Sedangkan parameter S_{21} (Lampiran 3) menunjukkan koefisien transmisi yang akan digunakan untuk menghitung nilai absorpsi. Nilai absorpsi dihitung menggunakan persamaan 2.3. Karakterisasi daya serap bahan terhadap gelombang mikro ini dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bandung. Alat *Vector Network Analyzer* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Vector Network Analyzer*

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nanokomposit PAni/TiO₂/Karbon yang telah disintesis, dikarakterisasi menggunakan alat *Magnetic susceptibility meter*, LCR meter dan *Vector Network Analyser* untuk mengetahui sifat magnet, sifat listrik dan daya serap bahan terhadap gelombang mikro.

4.1 Karakterisasi Sifat Magnet dengan *Magnetic Susceptibility Meter*

Data hasil pengukuran dapat dilihat pada Lampiran 1. Sedangkan nilai rata-rata pengukuran suseptibilitas magnet pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data Pengukuran Suseptibilitas Magnet

No	Sampel	Suseptibilitas Magnet x 10 ⁻⁸ m ³ /Kg
1	PAni	-1
2	A	-1.2
3	B	-1.8
4	C	-1.8
5	D	-2
6	E	-1.2

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa suseptibilitas magnet semua sampel bernilai negatif, hal ini menunjukkan bahwa sampel tersebut merupakan material diamagnetik. Penambahan karbon dan TiO₂ pada PAni meningkatkan sifat

diamagnetik PANi, namun tidak terdapat hubungan linear untuk setiap penambahan karbon.

4.2 Karakterisasi Sifat Listrik dengan LCR Meter

Sifat listrik nanokomposit diuji menggunakan alat LCR Meter TH 2820. Pengukuran dengan LCR Meter menghasilkan nilai resistansi sampel, berdasarkan nilai tersebut dapat dihitung nilai konduktivitas. Contoh perhitungan konduktivitas adalah sebagai berikut:

Misal: Resistansi sampel A pada frekuensi 100 Hz = 2207,75 Ω maka nilai konduktivitasnya adalah:

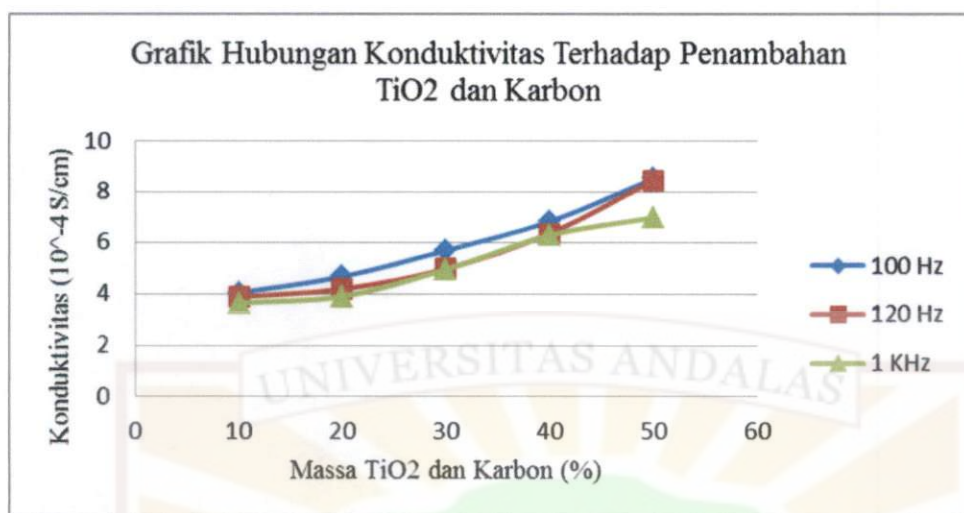
$$\sigma = \frac{(0,3 \text{ cm})}{(2207,75 \text{ } \Omega)(1,1304 \text{ cm}^2)} = 1,2 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$$

Dengan cara yang sama maka diperoleh nilai konduktivitas untuk setiap sampel seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Nilai konduktivitas PANi dan PANi/TiO₂/Karbon

No	Sampel	Resistansi (Ω)			Konduktivitas x 10 ⁻⁴ (S/cm)		
		100 Hz	120 Hz	1000 Hz	100 Hz	120 Hz	1000 Hz
1	PANi	31,21	6,40	3,56	85,03	414,7	745,5
2	A	656,9	684,6	729	4,04	3,88	3,64
3	B	490,9	547,7	587,35	4,66	4,18	3,9
4	C	466,95	534,9	537,45	5,68	4,96	4,94
5	D	388,4	417 ,05	422,65	6,83	6,36	6,28
6	E	311,65	314	379,85	8,52	8,45	6,99

Pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas PANi murni berdasarkan variasi frekuensi berkisar antara $85,03 \times 10^{-4}$ S/cm sampai $745,5 \times 10^{-4}$ S/cm. Sedangkan menurut teori nilai konduktivitas PANi murni yaitu berkisar antara 10^{-10} S/cm sampai 100 S/cm (Mihardi, 2008). Hal ini berarti PANi yang diperoleh pada penelitian cukup konduktif. Berdasarkan spektrum konduktivitas listrik, nilai konduktivitas PANi yang diperoleh berada dalam rentang konduktivitas material semikonduktor. Nilai konduktivitas PANi murni meningkat berdasarkan penambahan frekuensi, semakin tinggi frekuensi yang diberikan nilai konduktivitas PANi juga semakin naik. Kenaikan frekuensi akan meningkatkan energi kinetik pada material sehingga terjadi transfer muatan yang tinggi pada daerah antar muka. Kondisi ini menjelaskan terjadinya aliran elektron dari kondisi HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) ke kondisi LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) semakin besar. Sehingga semakin besar frekuensi yang diberikan pada material maka akan meningkatkan aliran muatan atau konduktivitas material tersebut (Sitorus, 2011). Hubungan konduktivitas terhadap penambahan TiO_2 dan karbon dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Nilai Konduktivitas Sampel dan Penambahan TiO₂/Karbon

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa konduktivitas sampel lebih tinggi pada frekuensi 100 Hz. Dalam hal ini konduktivitas PANi/TiO₂/Karbon dipengaruhi oleh persentase penambahan TiO₂ dan karbon. Semakin banyak TiO₂ dan karbon yang ditambahkan, nilai konduktivitas sampel juga semakin meningkat. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan Phang dkk. (2008) diperoleh konduktivitas sampel PANi/HA/TiO₂/SWNT meningkat pada setiap penambahan SWNT 10%, 20% dan 60% yaitu $6,60 \times 10^{-2}$ S/cm, $1,27 \times 10^{-1}$ S/cm dan $7,15 \times 10^0$ S/cm. Namun, jika dibandingkan dengan PANi murni nilai konduktivitas PANi yang ditambah TiO₂ dan karbon jauh lebih rendah. Hal ini terjadi karena TiO₂ memiliki energi gap yang besar yaitu 3,2 eV, sehingga energi gap matriks PANi yang ditambahkan TiO₂ juga semakin besar. Sifat konduktif sampel yang meningkat berdasarkan penambahan TiO₂ dan karbon disebabkan karena kehadiran karbon. Karbon dapat menghubungkan antara satu rantai PANi dengan rantai PANi yang lain, hal ini akan memudahkan pergerakan aliran arus

antar rantai PANi (Phang dkk., 2008). Bhullar (2009) dalam Prastiwi (2012) mengatakan secara keseluruhan pengukuran nilai konduktivitas PANi yang mengalami proses pendopongan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain konsentrasi dopan yang ditambahkan, homogenitas dopan dalam PANi, derajat kristalinitas, morfologi polimer dan reaksi kimia yang terjadi antara dopan dengan polimer tersebut.

Berdasarkan spektrum konduktivitas listrik pada Gambar 2.3 diketahui bahwa data konduktivitas listrik sampel pada Tabel 4.2 berada pada rentang sifat semikonduktor. Bahan semikonduktor cocok digunakan sebagai penyerap gelombang mikro karena bahan ini dapat mengubah energi gelombang mikro menjadi energi panas. Ketika gelombang mikro mengenai material yang dilapisi dengan material penyerap gelombang mikro, maka akan terbentuk medan listrik pada permukaan penyerap. Setelah itu arus akan mengalir sebagai arus permukaan. Ketika arus permukaan mengalir pada penyerap, energi gelombang mikro akan diubah dalam bentuk energi panas (Mustafa, 2007).

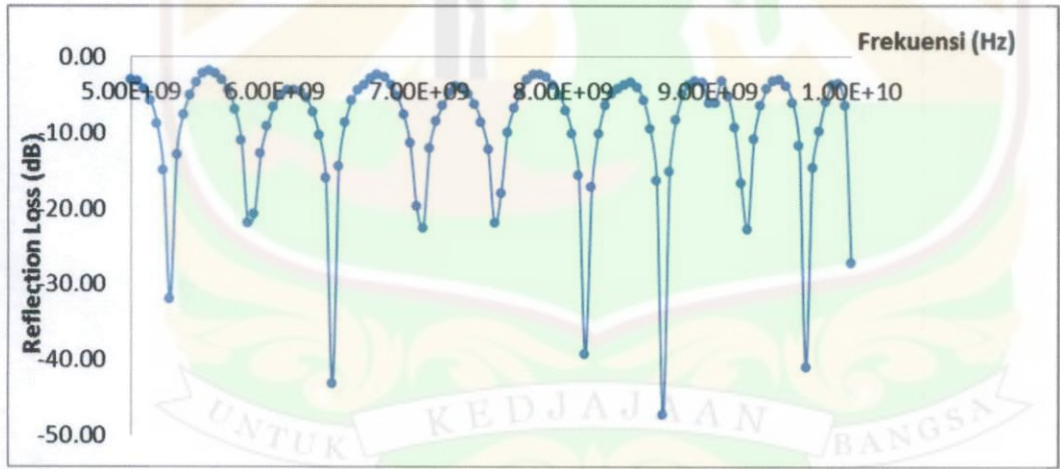
4.3 Karakterisasi Absorpsi Bahan Terhadap Gelombang Mikro dengan Vector Network Analyzer (VNA)

Data hasil perhitungan *reflection loss* (RL) pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Lampiran 4. Berdasarkan data pada Lampiran 4 dapat dilihat bahwa secara keseluruhan *reflection loss* (RL) sampel bernilai negatif. Hal ini mengindikasikan bahwa material nanokomposit PANi/TiO₂/Karbon dapat menyerap gelombang mikro. Penyerapan gelombang mikro pada sampel dapat diprediksi berdasarkan nilai *reflection loss*, semakin besar nilai negatif *reflection*

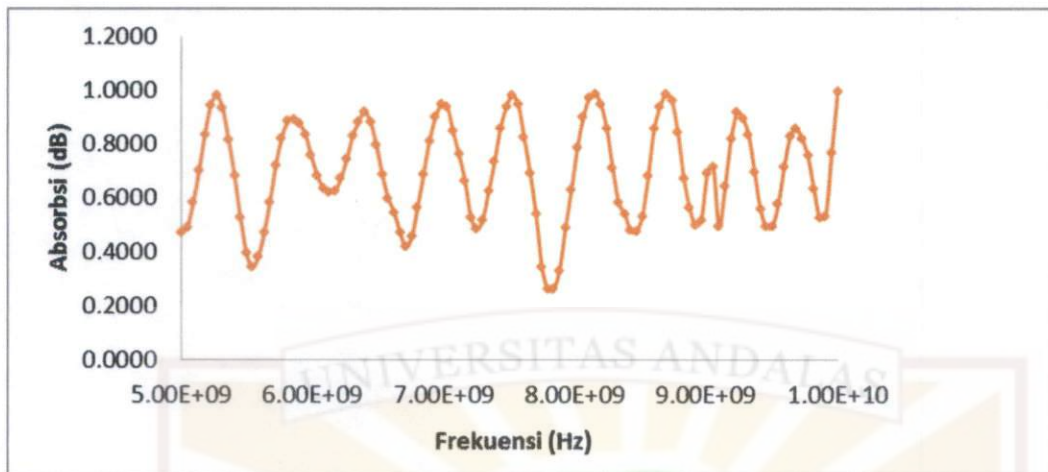
loss maka semakin besar daya serap bahan terhadap gelombang mikro (Phang dkk, 2008). Nilai absorpsi material terhadap gelombang mikro dihitung dengan persamaan 2.3. Data hasil perhitungan nilai absorpsi bahan terhadap gelombang mikro dapat dilihat pada Lampiran 5. Dari tabel pada Lampiran 4 dan Lampiran 5 dapat dibuat grafik hubungan frekuensi-*reflection loss* dan frekuensi-absorpsi untuk masing-masing sampel yang akan dijelaskan pada sub-bab 4.3.1 sampai dengan 4.3.5.

4.3.1 Nilai *Reflection Loss* (RL) dan Nilai Absorpsi Pada Sampel A

Grafik hubungan frekuensi-*reflection loss* dan frekuensi-absorpsi pada sampel A dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Frekuensi dan *Reflection Loss* (RL) Pada Sampel A

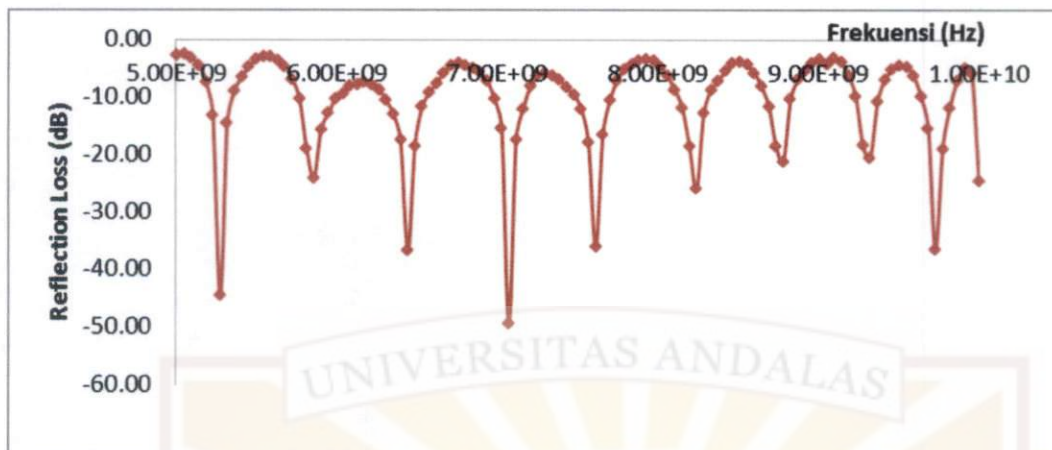


Gambar 4.3 Grafik Hubungan Frekuensi dan Absorpsi Pada Sampel A

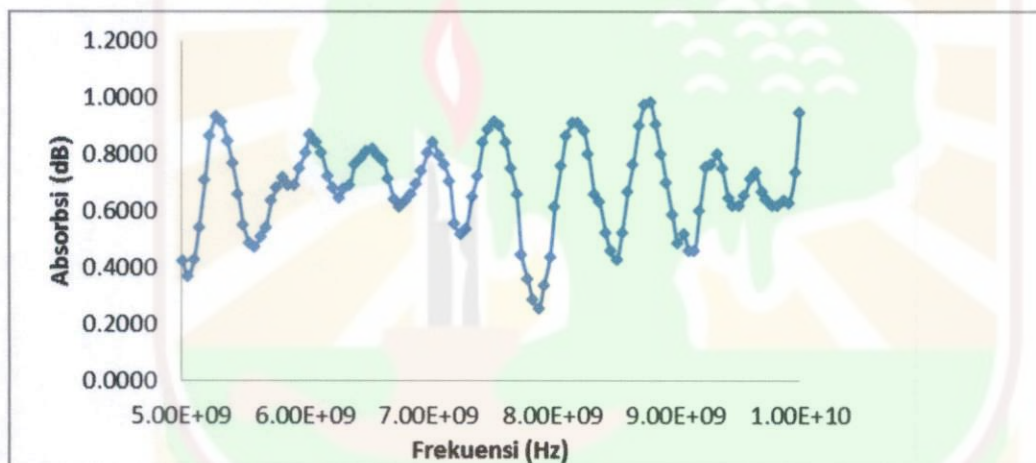
Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa sampel A yaitu PANi dengan penambahan TiO_2 /Karbon sebanyak 10 % memiliki nilai *reflection loss* yang tinggi pada frekuensi 8,07 GHz yaitu sebesar -47,30 dB . Berdasarkan teori diprediksi bahwa sampel A memiliki nilai absorpsi yang cukup tinggi juga pada frekuensi tersebut. Dari Gambar 4.4 didapatkan nilai absorpsi sampel A pada frekuensi 8,07 GHz adalah sebesar 90,10 %. Jika dibandingkan dengan nilai absorpsi pada frekuensi lain, absorpsi pada frekuensi 8,07 GHz bukan absorpsi dengan nilai tertinggi. Nilai absorpsi paling tinggi yaitu 99,44 % pada frekuensi 10 GHz. Hal ini diprediksi terjadi karena pada frekuensi 8,07 GHz gelombang yang dtransmisikan oleh sampel lebih besar.

4.3.2 Nilai *Reflection Loss* (RL) dan Nilai Absorpsi Pada Sampel B

Grafik hubungan frekuensi-*reflection loss* dan frekuensi-absorpsi pada sampel A dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Frekuensi dan *Reflection Loss* (RL) Pada Sampel B

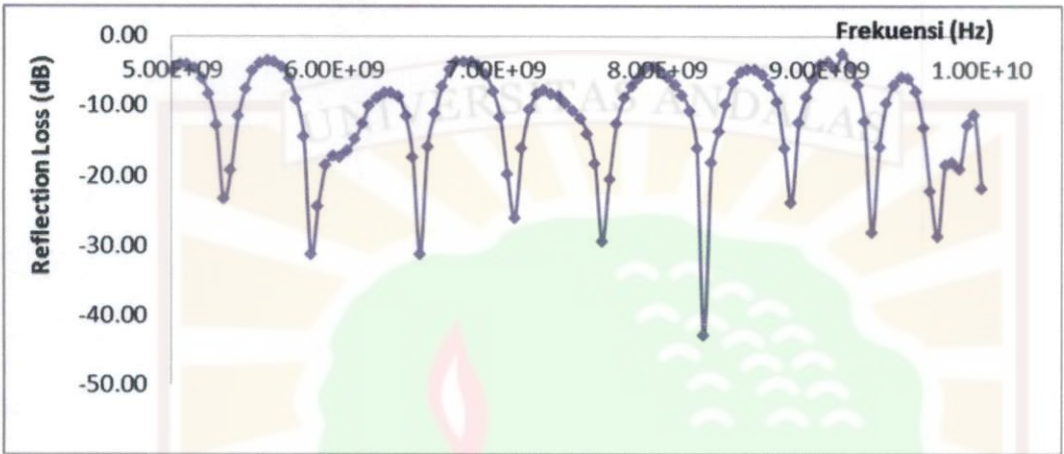


Gambar 4.5 Grafik Hubungan Frekuensi dan Absorbsi Pada Sampel B

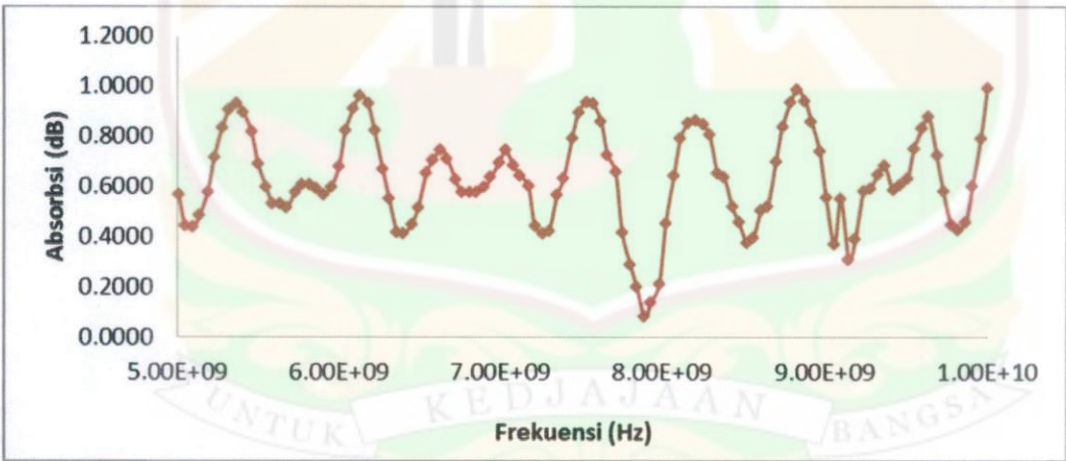
Dari Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa nilai *reflection loss* yang paling tinggi pada sampel B berada pada frekuensi 7,08 GHz yaitu -49,31 dB. Pada frekuensi tersebut nilai absorbsinya adalah 79,75%. Nilai absorbsi sampel B paling tinggi yaitu 97,24 % pada frekuensi 8,74 GHz dengan *reflection loss* -18,48 dB. *Reflection loss* pada sampel B lebih besar dari sampel A, tapi dilihat dari nilai absorbsinya nilai absorbsi sampel B lebih rendah.

4.3.3 Nilai *Reflection Loss* (RL) dan Nilai Absorbsi Pada Sampel C

Grafik hubungan frekuensi-*reflection loss* dan frekuensi-absorbsi pada sampel A dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Frekuensi dan *Reflection Loss* (RL) Pada Sampel C



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Frekuensi dan Absorbsi Pada Sampel C

Nilai *reflection loss* tertinggi pada sampel C berdasarkan Gambar 4.6 yaitu -42,95 dB pada frekuensi 8,29 GHz. Pada frekuensi ini nilai absorpsi sampel adalah 80,72 %. Untuk sampel C nilai absorpsi tertinggi yaitu 99,17 % pada frekuensi 10

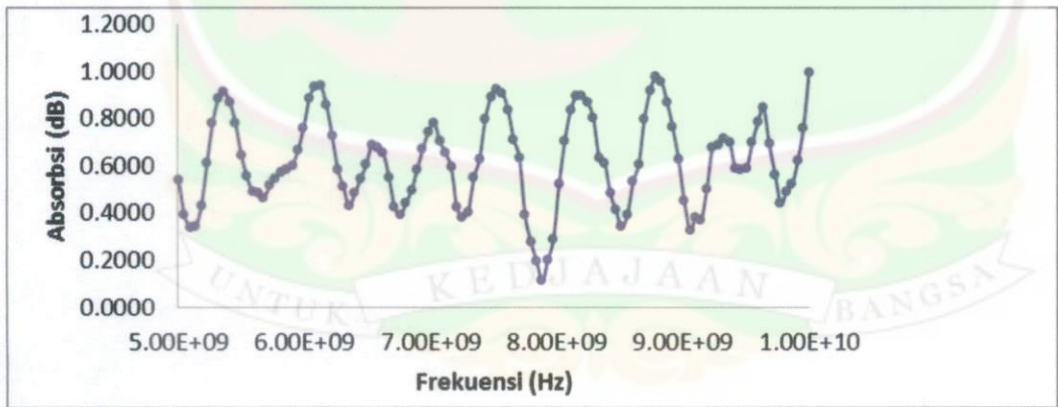
GHz dengan *reflection loss* -21,94 dB. Sampel C memiliki absorpsi yang lebih tinggi dari sampel B.

4.3.4 Nilai *Reflection Loss* (RL) dan Nilai Absorpsi Pada Sampel D

Grafik hubungan frekuensi-*reflection loss* dan frekuensi-absorpsi pada sampel A dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Frekuensi dan *Reflection Loss* (RL) Pada Sampel D



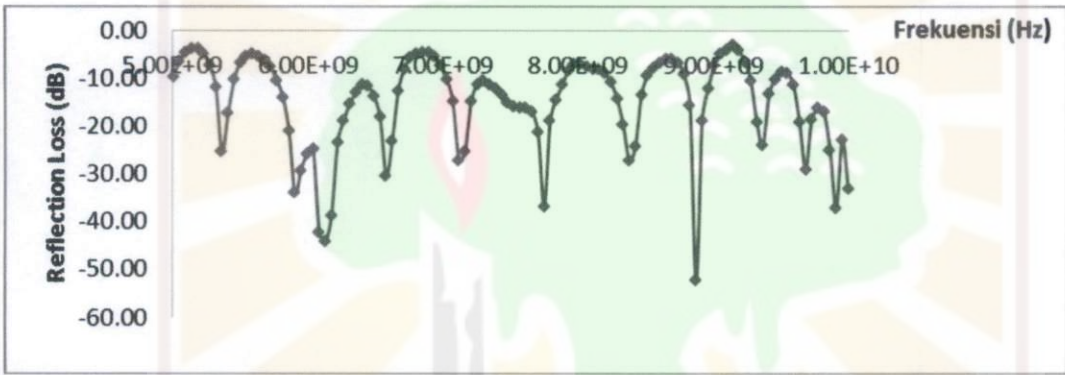
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Frekuensi dan Absorpsi Pada Sampel D

Pada sampel D nilai *reflection loss* tertinggi yaitu -46,59 dB di frekuensi 5,91 GHz. Pada frekuensi ini nilai absorpsi material hanya sekitar 60,28 % berarti pada frekuensi tersebut gelombang yang diteruskan cukup banyak. Sedangkan untuk

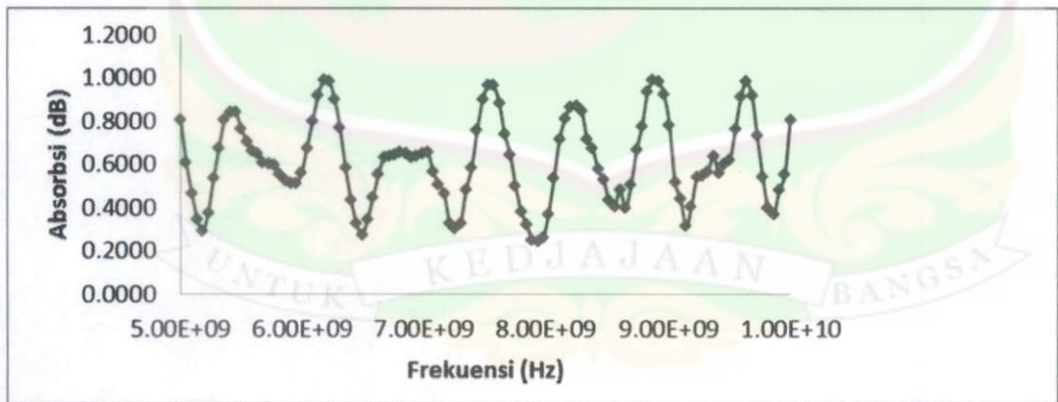
nilai absorpsi pada sampel D paling tinggi berada di frekuensi 10 GHz yaitu 99,52% dengan nilai *reflection loss* -40,21 dB.

4.3.5 Nilai *Reflection Loss* (RL) dan Nilai Absorpsi Pada Sampel E

Grafik hubungan frekuensi-*reflection loss* dan frekuensi-absorpsi pada sampel A dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Frekuensi dan *Reflection Loss* (RL) Pada Sampel E



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Frekuensi dan Absorpsi Pada Sampel E

Nilai *reflection loss* pada sampel E yang tertinggi yaitu -52,31 dB pada frekuensi 8,88 GHz. Pada frekuensi ini nilai absorpsi sampel yaitu 99,02 %. Nilai absorpsi

yang paling tinggi adalah 99,18% pada frekuensi 6,18 GHz dengan nilai *reflection loss* -38,74 dB.

Perbandingan grafik *reflection loss* dan absorpsi untuk semua sampel dapat dilihat pada Lampiran 6 dan 7. Sedangkan nilai absorpsi dan *reflection loss* yang paling tinggi untuk masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai Absorpsi dan *Reflection Loss* Maksimum Pada masing-masing Sampel

No	Sampel	Frekuensi (GHz)	Absorpsi (%)	<i>Reflection Loss</i> (dB)
1	A	10	99,44	-27,17
2	B	8,74	97,24	-18,49
3	C	10	99,17	-21,94
4	D	10	99,52	-40,21
5	E	6,18	99,18	-38,74

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa sampel D merupakan sampel yang memiliki nilai absorpsi paling tinggi yaitu 99,52 % yang terjadi pada frekuensi 10 GHz. Sampel D merupakan material diamagnetik yang lebih kuat dari sampel lain yaitu dengan nilai suseptibilitas sebesar $-2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$. Sedangkan nilai konduktivitasnya yaitu $6,83 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ pada frekuensi 100 Hz, nilai ini lebih kecil dari nilai konduktivitas sampel E. Berdasarkan nilai *reflection loss* dan nilai absorpsi, didapatkan bahwa nanokomposit dengan penambahan 40% TiO_2 /Karbon adalah material yang paling optimum menyerap gelombang mikro dibandingkan empat sampel yang lain. Dengan kata lain penyerapan optimum gelombang mikro tidak mutlak terjadi pada penambahan TiO_2 /karbon dengan persentase massa lebih

tinggi dan konduktivitas paling tinggi. Pada penelitian sebelumnya PANi/HA/TiO₂/SWNT 20% yang memiliki konduktivitas $1,27 \times 10^{-1}$ S/cm merupakan material yang paling bagus menyerap gelombang mikro dibandingkan dengan PANi/HA/TiO₂/SWNT 60% yang memiliki konduktivitas $7,15 \times 10^0$ S/cm (Phang dkk., 2008).

Berdasarkan data yang diperoleh diketahui bahwa tidak terdapat hubungan antara penambahan TiO₂ dan karbon terhadap absorpsi. Dari data *reflection loss* pada setiap sampel dapat dilihat bahwa *reflection loss* yang besar tidak selalu menunjukkan absorpsi yang tinggi. Hal ini terjadi karena gelombang mikro yang mengenai material tersebut tidak semuanya diserap namun ada yang ditransmisikan. Setiap gelombang elektromagnetik yang mengenai material akan dipantulkan, diserap atau ditransmisikan (Folgueras dkk., 2007). Pada dasarnya, struktur material penyerap gelombang mikro terdiri dari bagian dengan sifat yang dapat mengizinkan gelombang elektromagnetik menembus daerah dimana medan listrik dan medan magnetik mengalami *loss*. Jika gelombang elektromagnetik menembus permukaan material konduktif, medan listrik akan berinteraksi dengan elektron bebas sehingga akan menghasilkan arus (Phang dkk., 2008).

Secara umum dilihat dari nilai absorpsinya kelima sampel pada penelitian ini cocok digunakan sebagai material penyerap gelombang mikro. Namun, pengaplikasiannya berbeda-beda karena masing-masing sampel memiliki absorpsi maksimum pada frekuensi tertentu dalam rentang frekuensi gelombang mikro. Hal

ini terjadi karena nilai permeabilitas kompleks dan permitivitas kompleks berbeda pada setiap rentang frekuensi (Hosseini dkk., 2012).



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal, antara lain:

1. Suseptibilitas dari semua sampel bernilai negatif hal ini menunjukkan bahwa material yang terkandung pada sampel merupakan material diamagnetik. Sedangkan untuk sifat listrik diperoleh nilai konduktivitas yang cukup kecil yaitu berada pada rentang material semikonduktor sehingga material ini dapat diaplikasikan sebagai penyerap dielektrik pada gelombang mikro.
2. Absorpsi maksimum terjadi pada sampel D yaitu 99,52 % pada frekuensi 10 GHz dengan nilai *reflection loss* sebesar -40,21 dB. Sedangkan nilai suseptibilitas dan konduktivitasnya adalah $-2 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ dan $6,83 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$.
3. Berdasarkan nilai *reflection loss* dan absorpsi sampel secara keseluruhan, PAni dengan penambahan TiO_2 dan karbon dapat diaplikasikan sebagai material anti radar. Namun, pengaplikasiannya tergantung pada frekuensi tertentu dalam rentang frekuensi gelombang mikro, karena nilai absorpsi maksimum yang didapatkan pada rentang frekuensi 5,01 GHz sampai 10 GHz berbeda untuk setiap sampel.

5.2 Saran

Secara keseluruhan dari hasil penelitian ini disarankan untuk penelitian selanjutnya, ketebalan sampel untuk karakterisasi dengan *Vector Network Analyzer* sebaiknya divariasikan karena *reflection loss* juga tergantung pada ketebalan sampel.



DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Abdullah, H., Taib, M.N., Noordin, I.R.M., Saad, N., Ali, W.K.W., Ari, R., Abdullah, A.T. dan Jalil, S.Z.A., 2012, Computational Design and Performance Evaluation of Green Painting Absorbing Material, *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Budi, E., 2011, Tinjauan Proses Pembentukan dan Penggunaan Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar, *Jurnal Penelitian Sains*, Volume 14, Nomor 4(B).
- Safriani, L., Yayah, Y. dan Aryati, T., 2003, Pengaruh Doping Asam Protonik Terhadap Konduktivitas dan Transparasi Polianilin, *Laporan Penelitian*, Dana DIKS, Universitas Padjajaran, Bandung.
- Fuller, M.W, 2009, High Permittivity and High Permeability of Nanoparticles in Conducting Polymer Films, *Tesis*, The University of Tennessee, Knoxville.
- Folgueras, L.C, Noharab, E.L., Faez, R., Rezended, M.C., 2007, Dielectric Microwave Absorbing Material Processed by Impregnation of Carbon Fiber Fabric with Polyaniline, *Materials Research*, Vol. 10, No. 1, 95-99.
- Hao, Q., 2003, Development of Conductometric Polymer Sensorfor Gaseous Hydrogen Chloride, *Dissertation*, Faculty of Chemistry and Pharmacy, University of Regensburg, Germany
- Hosseini, S.H., Hossein, s., dan Asadnia, A., 2012, Synthesis, Characterization, and Microwave-Absorbing Properties of Polypyrrole/MnFe₂O₄ Nanocomposite, *Jurnal of Nanomaterial*, Volume 2012
- Mihardi, I., 2008, Karakteristik Optik dan Listrik Polianilin yang di-Doped HCL, *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Makaropa, 2004, *Semiconductor*, No.38, hal. 615
- Mustafa, M.F, 2007, A Study and Development on Microwave Absorber Using Agriculture Waste Material, *Thesis*, Fakulti Kejuruteraan Elektronik & Kejuruteraan Komputer, Universiti Teknikal Malaysia Melaka

- Phang, S.W., Tadakoro, M., Watanabe, J. dan Kuramoto, N., 2008, Synthesis, Characterization and Microwave Absorption Property of Doped Polyaniline Nanocomposites Containing TiO_2 Nanoparticles and Carbon Nanotubes, *Syntetic Metals*, No.158, hal.251-258.
- Permana, A., 2010, *Sintesis Bahan Nanokomposit Polianilin(PANi) – TiO_2 dan Karakterisasinya Sebagai Pelapisan Tahan Korosi*, Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Prastiwi, H., 2012, Analisis Pengaruh Penambahan Serbuk Tembaga Terhadap Sifat Listrik Dan Sifat Optik Polianilin (PANi), *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang.
- Shi, M.G., 2009, An Electrically Engineered Meta-Material Absorber, *Submitted in Partial Fulfillment of Graduation with Distinction Requirements*.
- Sitorus, B., Suendo, V. dan Hidayat, F., 2011, Sintesis Polimer Konduktif sebagai Bahan Baku untuk Penyimpan Perangkat Energi Listrik, *ELKHA*, Vol.3, No.1.
- Timuda, G.E., 2009, Sintesis Nanopartikel TiO_2 dengan Metoda Sonokimia Untuk Aplikasi Sel Surya Tersensitisasi Dye (dye sensitized solar cell-DSCC) Menggunakan Ekstrak kulit buah manggis dan plum sebagai photosensitizer, *Tesis*, Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Yuniarti, K., 2008, Kajian Pengaruh Penggunaan Gelombang Mikro (*Microwave*) Terhadap Sifat Fisik Mekanik dan Pengolahan Primer Kayu (Pengeringan dan Pengawetan), *Seminar Nasional MAPEKI VII di Universitas Tanjung Putra*: Kalimantan Barat.

<http://microwave-kpip.blogspot.com/2010/12/definisi-gelombang-mikro.html>
(diakses pada tanggal 1 April 2012 pukul 14.00 WIB)

Lampiran 1. Hasil Pengukuran *Magnetic Susceptibility Meter*

1. Sampel A

Pengukuran Ke	Suseptibilitas Magnet ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$)
1	-1
2	-1
3	-2
4	-1
5	-1
Rata-rata	-1,2

2. Sampel B

Pengukuran Ke	Suseptibilitas Magnet ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$)
1	-2
2	-1
3	-2
4	-3
5	-1
Rata-rata	-1,8

3. Sampel C

Pengukuran Ke	Suseptibilitas Magnet ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$)
1	-1
2	-2
3	-2
4	-2
5	-2
Rata-rata	-1,8

4. Sampel D

Pengukuran Ke	Suseptibilitas Magnet ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$)
1	-3
2	-3
3	-1
4	-2
5	-1
Rata-rata	-2

5. Sampel E

Pengukuran Ke	Suseptibilitas Magnet ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg}$)
1	-1
2	-1
3	-1
4	-2
5	-1
Rata-rata	-1,2

Lampiran 2. Data Parameter Hambur S_{11}

No	Frekuensi (Hz)	Parameter Hambur S_{11}				
		A	B	C	D	E
1	5.01E+09	-0.7130	-0.7220	-0.5640	-0.6220	-0.3224
2	5.05E+09	-0.6920	-0.7400	-0.6230	-0.7050	-0.4803
3	5.10E+09	-0.6230	-0.6960	-0.6270	-0.7350	-0.5803
4	5.14E+09	-0.5140	-0.5980	-0.5810	-0.7180	-0.6520
5	5.19E+09	-0.3650	-0.4280	-0.4930	-0.6370	-0.6474
6	5.23E+09	-0.1790	-0.2220	-0.3780	-0.4920	-0.5789
7	5.28E+09	0.0252	-0.0059	-0.2300	-0.2960	-0.4378
8	5.32E+09	0.2300	0.1900	-0.0681	-0.0875	-0.2548
9	5.37E+09	0.4170	0.3590	0.1090	0.1270	-0.0538
10	5.41E+09	0.5590	0.4690	0.2640	0.2980	0.1354
11	5.46E+09	0.6870	0.5820	0.4160	0.4570	0.3058
12	5.50E+09	0.7790	0.6690	0.5540	0.5930	0.4614
13	5.55E+09	0.8090	0.7070	0.6310	0.6600	0.5403
14	5.59E+09	0.7800	0.7020	0.6670	0.6870	0.5665
15	5.64E+09	0.7110	0.6510	0.6470	0.6600	0.5361
16	5.68E+09	0.6050	0.5860	0.6000	0.6200	0.4941
17	5.73E+09	0.4520	0.4520	0.4930	0.5160	0.4155
18	5.77E+09	0.2810	0.3020	0.3470	0.3820	0.3016
19	5.82E+09	0.0802	0.1120	0.1900	0.2330	0.2000
20	5.86E+09	-0.0915	-0.0624	0.0274	0.0838	0.0884
21	5.91E+09	-0.2300	-0.1670	-0.0604	-0.0047	0.0198
22	5.95E+09	-0.3480	-0.2280	-0.1180	-0.0669	-0.0345
23	6.00E+09	-0.4710	-0.3070	-0.1390	-0.1130	-0.0511
24	6.04E+09	-0.5560	-0.3370	-0.1350	-0.1350	-0.0568
25	6.09E+09	-0.6020	-0.3990	-0.1510	-0.1930	-0.0077
26	6.13E+09	-0.6090	-0.4050	-0.1820	-0.2470	0.0063
27	6.18E+09	-0.5910	-0.4240	-0.2340	-0.3180	-0.0116
28	6.22E+09	-0.5350	-0.4090	-0.3160	-0.4050	-0.0665
29	6.27E+09	-0.4360	-0.3670	-0.3560	-0.4340	-0.1135
30	6.31E+09	-0.3060	-0.2950	-0.3880	-0.4380	-0.1704
31	6.36E+09	-0.1610	-0.2250	-0.3930	-0.4110	-0.2234
32	6.40E+09	0.0069	-0.1330	-0.3680	-0.3380	-0.2738
33	6.45E+09	0.1890	-0.0147	-0.2670	-0.1920	-0.2652
34	6.49E+09	0.3700	0.1200	-0.1340	-0.0165	-0.2036
35	6.54E+09	0.5190	0.2610	0.0276	0.1820	-0.1233
36	6.58E+09	0.6040	0.3430	0.1590	0.3320	-0.0302

37	6.63E+09	0.6570	0.4200	0.2780	0.4660	0.0698
38	6.67E+09	0.7200	0.5100	0.4290	0.6110	0.2326
39	6.72E+09	0.7610	0.5940	0.5660	0.7360	0.3961
40	6.76E+09	0.7360	0.6210	0.6430	0.7770	0.5192
41	6.81E+09	0.6580	0.6010	0.6520	0.7470	0.5639
42	6.85E+09	0.5530	0.5710	0.6460	0.6990	0.5915
43	6.90E+09	0.4170	0.5170	0.6080	0.6030	0.5898
44	6.94E+09	0.2690	0.4330	0.5280	0.4790	0.5346
45	6.99E+09	0.1040	0.3050	0.4020	0.3220	0.4277
46	7.03E+09	-0.0742	0.1690	0.2600	0.1630	0.3090
47	7.08E+09	-0.2510	0.0034	0.1020	-0.0134	0.1790
48	7.12E+09	-0.3780	-0.1360	-0.0497	-0.1560	0.0437
49	7.17E+09	-0.4790	-0.2520	-0.1570	-0.2660	-0.0534
50	7.21E+09	-0.5870	-0.3940	-0.2940	-0.4060	-0.1799
51	7.26E+09	-0.6440	-0.4860	-0.3850	-0.4970	-0.2744
52	7.30E+09	-0.6320	-0.5080	-0.4100	-0.5170	-0.3004
53	7.35E+09	-0.5710	-0.4790	-0.3800	-0.4820	-0.2691
54	7.39E+09	-0.4860	-0.4470	-0.3680	-0.4520	-0.2479
55	7.44E+09	-0.3700	-0.3830	-0.3270	-0.3830	-0.2115
56	7.48E+09	-0.2460	-0.3310	-0.2890	-0.3260	-0.1756
57	7.53E+09	-0.0798	-0.2510	-0.2530	-0.2670	-0.1589
58	7.57E+09	0.1270	-0.1290	-0.1980	-0.1760	-0.1539
59	7.62E+09	0.3190	0.0156	-0.1220	-0.0614	-0.1549
60	7.66E+09	0.4590	0.1480	-0.0340	0.0519	-0.1430
61	7.71E+09	0.5880	0.2960	0.0946	0.1980	-0.0852
62	7.75E+09	0.7060	0.4410	0.2350	0.3440	0.0145
63	7.80E+09	0.7690	0.5520	0.3540	0.4610	0.1145
64	7.84E+09	0.7680	0.6100	0.4300	0.5300	0.1895
65	7.89E+09	0.7340	0.6500	0.4950	0.5820	0.2693
66	7.93E+09	0.6580	0.6770	0.5780	0.6410	0.3854
67	7.98E+09	0.5640	0.6500	0.6010	0.6370	0.4509
68	8.02E+09	0.4460	0.5830	0.5640	0.5800	0.4509
69	8.07E+09	0.3120	0.4820	0.5070	0.4980	0.4211
70	8.11E+09	0.1650	0.3660	0.4380	0.4030	0.3980
71	8.16E+09	0.0108	0.2550	0.3770	0.3140	0.3881
72	8.20E+09	-0.1400	0.1180	0.2900	0.1980	0.3608
73	8.25E+09	-0.3100	-0.0504	0.1580	0.0479	0.2882
74	8.29E+09	-0.4780	-0.2290	0.0071	-0.1190	0.1941
75	8.34E+09	-0.5730	-0.3620	-0.1220	-0.2510	0.1027
76	8.38E+09	-0.6190	-0.4380	-0.2060	-0.3300	0.0435
77	8.43E+09	-0.6610	-0.5340	-0.3230	-0.4400	-0.0608

78	8.47E+09	-0.6760	-0.6220	-0.4610	-0.5570	-0.2123
79	8.52E+09	-0.6330	-0.6440	-0.5440	-0.6190	-0.3345
80	8.56E+09	-0.5180	-0.6030	-0.5720	-0.6170	-0.4059
81	8.61E+09	-0.3380	-0.5140	-0.5690	-0.5780	-0.4583
82	8.65E+09	-0.1540	-0.3920	-0.5260	-0.4850	-0.5074
83	8.70E+09	0.0043	-0.2630	-0.4430	-0.3650	-0.5082
84	8.74E+09	0.1750	-0.1190	-0.3360	-0.2300	-0.4614
85	8.79E+09	0.3870	0.0878	-0.1560	-0.0261	-0.3444
86	8.83E+09	0.5680	0.3030	0.0641	0.2010	-0.1653
87	8.88E+09	0.6590	0.4440	0.2370	0.3620	-0.0024
88	8.92E+09	0.7020	0.5350	0.3620	0.4730	0.1145
89	8.97E+09	0.6800	0.6240	0.4820	0.5850	0.2487
90	9.01E+09	0.4980	0.6770	0.6210	0.6890	0.4266
91	9.06E+09	0.5010	0.6020	0.6500	0.6760	0.5646
92	9.10E+09	0.6990	0.6920	0.5860	0.7390	0.6294
93	9.15E+09	0.5540	0.6440	0.7400	0.7070	0.7109
94	9.19E+09	0.3420	0.4890	0.6000	0.5380	0.6215
95	9.24E+09	0.1480	0.3240	0.4450	0.3660	0.4747
96	9.28E+09	-0.0726	0.1210	0.2420	0.1580	0.3021
97	9.33E+09	-0.2880	-0.0934	0.0390	-0.0571	0.1108
98	9.37E+09	-0.4780	-0.2890	-0.1600	-0.2580	-0.0635
99	9.42E+09	-0.6130	-0.4450	-0.3310	-0.4180	-0.2152
100	9.46E+09	-0.6910	-0.5480	-0.4440	-0.5250	-0.3118
101	9.51E+09	-0.7050	-0.5930	-0.5020	-0.5740	-0.3732
102	9.55E+09	-0.6430	-0.5820	-0.4880	-0.5470	-0.3602
103	9.60E+09	-0.5000	-0.4870	-0.3950	-0.4420	-0.2743
104	9.64E+09	-0.2630	-0.3190	-0.2190	-0.2540	-0.1118
105	9.69E+09	-0.0089	-0.1680	-0.0771	-0.0993	0.0356
106	9.73E+09	0.1860	-0.0149	0.0369	0.0354	0.1171
107	9.78E+09	0.3240	0.1130	0.1180	0.1280	0.1549
108	9.82E+09	0.5100	0.2580	0.1240	0.1410	0.1409
109	9.87E+09	0.6510	0.4380	0.1110	0.2870	0.0565
110	9.91E+09	0.6710	0.5620	0.2300	0.4110	-0.0139
111	9.96E+09	0.4780	0.5130	0.2690	0.4270	0.0714
112	1.00E+10	-0.0438	0.0600	-0.0800	0.0098	0.0221

Lampiran 3. Data Parameter Hambur S₂₁

No	Frekuensi (Hz)	Parameter Hambur S ₁₁				
		A	B	C	D	E
1	5.01E+09	-0.1410	-0.2350	-0.3370	-0.2680	-0.3013
2	5.05E+09	-0.1740	-0.2900	-0.4100	-0.3330	-0.4022
3	5.10E+09	-0.1710	-0.2930	-0.4140	-0.3470	-0.4413
4	5.14E+09	-0.1790	-0.3160	-0.4230	-0.3720	-0.4783
5	5.19E+09	-0.1730	-0.3250	-0.4220	-0.4010	-0.5373
6	5.23E+09	-0.1490	-0.2920	-0.3760	-0.3820	-0.5353
7	5.28E+09	-0.1350	-0.2610	-0.3350	-0.3620	-0.5199
8	5.32E+09	-0.1170	-0.2160	-0.3000	-0.3300	-0.5074
9	5.37E+09	-0.0941	-0.1550	-0.2380	-0.2670	-0.4337
10	5.41E+09	-0.0719	-0.0996	-0.1910	-0.2080	-0.3725
11	5.46E+09	-0.0355	-0.0251	-0.1020	-0.1090	-0.2535
12	5.50E+09	-0.0015	0.0323	-0.0398	-0.0298	-0.1477
13	5.55E+09	0.0521	0.1130	0.0550	0.0802	-0.0144
14	5.59E+09	0.1020	0.1850	0.1530	0.1880	0.1309
15	5.64E+09	0.1600	0.2530	0.2310	0.2750	0.2425
16	5.68E+09	0.2180	0.3360	0.3510	0.3920	0.3786
17	5.73E+09	0.2700	0.3950	0.4260	0.4660	0.4756
18	5.77E+09	0.3130	0.4750	0.5240	0.5560	0.5586
19	5.82E+09	0.3290	0.5190	0.5960	0.6110	0.6358
20	5.86E+09	0.3140	0.5510	0.6400	0.6370	0.6830
21	5.91E+09	0.2650	0.5270	0.6560	0.6300	0.6986
22	5.95E+09	0.2060	0.4420	0.6240	0.5730	0.6940
23	6.00E+09	0.1390	0.3190	0.5500	0.4760	0.6590
24	6.04E+09	0.0670	0.1350	0.3970	0.3120	0.5643
25	6.09E+09	0.0092	0.0076	0.2550	0.1660	0.4477
26	6.13E+09	-0.0791	-0.1750	0.0678	-0.0224	0.2832
27	6.18E+09	-0.1460	-0.3070	-0.1290	-0.2020	0.0900
28	6.22E+09	-0.2010	-0.3890	-0.2800	-0.3310	-0.0908
29	6.27E+09	-0.2550	-0.4670	-0.4520	-0.4750	-0.2919
30	6.31E+09	-0.2780	-0.4840	-0.5460	-0.5450	-0.4484
31	6.36E+09	-0.3000	-0.5060	-0.6540	-0.6340	-0.6050
32	6.40E+09	-0.2840	-0.4660	-0.6730	-0.6330	-0.7004
33	6.45E+09	-0.2830	-0.4590	-0.6920	-0.6460	-0.7749
34	6.49E+09	-0.2550	-0.4160	-0.6850	-0.6290	-0.8261
35	6.54E+09	-0.2090	-0.3340	-0.5900	-0.5280	-0.7997
36	6.58E+09	-0.1860	-0.2890	-0.5210	-0.4630	-0.7430

37	6.63E+09	-0.1420	-0.2080	-0.4180	-0.3580	-0.6637
38	6.67E+09	-0.1090	-0.1510	-0.3230	-0.2720	-0.5562
39	6.72E+09	-0.0648	-0.0811	-0.2260	-0.1760	-0.4530
40	6.76E+09	-0.0178	-0.0003	-0.1040	-0.0569	-0.2937
41	6.81E+09	0.0158	0.0530	-0.0206	0.0254	-0.1635
42	6.85E+09	0.0637	0.1200	0.0750	0.1190	-0.0333
43	6.90E+09	0.1160	0.1930	0.1880	0.2260	0.1296
44	6.94E+09	0.1650	0.2640	0.2880	0.3170	0.2736
45	6.99E+09	0.2040	0.3190	0.3810	0.3930	0.4092
46	7.03E+09	0.2360	0.3560	0.4340	0.4390	0.4956
47	7.08E+09	0.2990	0.4500	0.5540	0.5440	0.6312
48	7.12E+09	0.3060	0.4650	0.5940	0.5680	0.7002
49	7.17E+09	0.3220	0.4810	0.6100	0.5800	0.7292
50	7.21E+09	0.3540	0.5390	0.6850	0.6390	0.8001
51	7.26E+09	0.3200	0.4950	0.6620	0.6090	0.7864
52	7.30E+09	0.2840	0.4520	0.6390	0.5730	0.7612
53	7.35E+09	0.2170	0.3430	0.5370	0.4660	0.6667
54	7.39E+09	0.1700	0.2790	0.4800	0.4070	0.5938
55	7.44E+09	0.0530	0.0994	0.3210	0.2340	0.4435
56	7.48E+09	-0.0323	-0.0469	0.1400	0.0538	0.2575
57	7.53E+09	-0.0989	-0.1540	-0.0039	-0.0808	0.0888
58	7.57E+09	-0.1890	-0.2860	-0.1790	-0.2460	-0.1033
59	7.62E+09	-0.2660	-0.3980	-0.3560	-0.4000	-0.3028
60	7.66E+09	-0.3100	-0.4740	-0.5210	-0.5340	-0.4865
61	7.71E+09	-0.3390	-0.5030	-0.5770	-0.5700	-0.5881
62	7.75E+09	-0.3960	-0.5990	-0.7260	-0.7000	-0.7041
63	7.80E+09	-0.3810	-0.5800	-0.7640	-0.7120	-0.7758
64	7.84E+09	-0.3840	-0.5840	-0.7830	-0.7220	-0.7989
65	7.89E+09	-0.3600	-0.5670	-0.8200	-0.7390	-0.8227
66	7.93E+09	-0.2800	-0.4490	-0.7240	-0.6220	-0.7769
67	7.98E+09	-0.2240	-0.3720	-0.6540	-0.5490	-0.7303
68	8.02E+09	-0.1180	-0.2080	-0.4810	-0.3730	-0.6508
69	8.07E+09	-0.0406	-0.0853	-0.3140	-0.2150	-0.5316
70	8.11E+09	0.0344	0.0407	-0.1240	-0.0563	-0.3541
71	8.16E+09	0.1100	0.1590	0.0402	0.0943	-0.1843
72	8.20E+09	0.1820	0.2760	0.2240	0.2560	0.0243
73	8.25E+09	0.2170	0.3370	0.3570	0.3610	0.2059
74	8.29E+09	0.2470	0.3800	0.4390	0.4300	0.3345
75	8.34E+09	0.2940	0.4570	0.5770	0.5500	0.5229
76	8.38E+09	0.2720	0.4180	0.5650	0.5280	0.5685
77	8.43E+09	0.2880	0.4380	0.6130	0.5670	0.6472

78	8.47E+09	0.2560	0.3920	0.5720	0.5260	0.6501
79	8.52E+09	0.2620	0.3930	0.5730	0.5250	0.6732
80	8.56E+09	0.2230	0.3370	0.5270	0.4750	0.6547
81	8.61E+09	0.1670	0.2530	0.4160	0.3620	0.5543
82	8.65E+09	0.1910	0.2870	0.4500	0.3960	0.5859
83	8.70E+09	0.1060	0.1670	0.3220	0.2610	0.4841
84	8.74E+09	0.0783	0.1160	0.2180	0.1730	0.3467
85	8.79E+09	0.0630	0.0994	0.2000	0.1530	0.3250
86	8.83E+09	0.0003	0.0106	0.0798	0.0413	0.1898
87	8.88E+09	-0.0321	-0.0355	0.0103	-0.0194	0.0990
88	8.92E+09	-0.0981	-0.1130	-0.0893	-0.1180	-0.0170
89	8.97E+09	-0.1450	-0.1580	-0.1600	-0.1780	-0.1033
90	9.01E+09	-0.2440	-0.2350	-0.2470	-0.2710	-0.1891
91	9.06E+09	-0.1820	-0.3430	-0.4540	-0.4620	-0.4010
92	9.10E+09	-0.1360	-0.2430	-0.3290	-0.2640	-0.3998
93	9.15E+09	-0.2190	-0.3520	-0.3780	-0.3590	-0.4202
94	9.19E+09	-0.2510	-0.3990	-0.5000	-0.4560	-0.4549
95	9.24E+09	-0.2440	-0.3730	-0.4680	-0.4320	-0.4782
96	9.28E+09	-0.3120	-0.4710	-0.5900	-0.5380	-0.5975
97	9.33E+09	-0.2890	-0.4370	-0.5900	-0.5320	-0.6466
98	9.37E+09	-0.2710	-0.4070	-0.5400	-0.4850	-0.5953
99	9.42E+09	-0.2500	-0.3920	-0.5500	-0.4870	-0.6249
100	9.46E+09	-0.1700	-0.2790	-0.4400	-0.3770	-0.5488
101	9.51E+09	-0.0765	-0.1630	-0.3400	-0.2840	-0.4881
102	9.55E+09	0.0916	0.0744	-0.1080	-0.0495	-0.3263
103	9.60E+09	0.1780	0.2210	0.1060	0.1430	-0.0916
104	9.64E+09	0.3170	0.3980	0.2680	0.3010	0.0541
105	9.69E+09	0.3730	0.5500	0.5200	0.5470	0.2797
106	9.73E+09	0.3790	0.5980	0.6460	0.6590	0.5040
107	9.78E+09	0.3700	0.6080	0.7340	0.7370	0.6579
108	9.82E+09	0.3190	0.5590	0.7460	0.6970	0.7609
109	9.87E+09	0.2200	0.4110	0.7260	0.6280	0.7909
110	9.91E+09	0.1280	0.2390	0.5860	0.4580	0.7188
111	9.96E+09	0.0228	0.0161	0.3680	0.2400	0.6633
112	1.00E+10	-0.0605	-0.2240	0.0440	-0.0688	0.4397

Lampiran 4. Nilai *Reflection Loss* Masing-masing Sampel

No	Frekuensi (Hz)	Reflection Loss (dB)				
		A	B	C	D	E
1	5.01E+09	-2.94	-2.83	-4.97	-4.12	-9.83
2	5.05E+09	-3.20	-2.62	-4.11	-3.03	-6.37
3	5.10E+09	-4.11	-3.15	-4.06	-2.68	-4.73
4	5.14E+09	-5.78	-4.47	-4.72	-2.88	-3.71
5	5.19E+09	-8.75	-7.37	-6.14	-3.91	-3.78
6	5.23E+09	-14.94	-13.07	-8.46	-6.16	-4.75
7	5.28E+09	-31.97	-44.60	-12.78	-10.57	-7.18
8	5.32E+09	-12.77	-14.42	-23.33	-21.16	-11.87
9	5.37E+09	-7.60	-8.90	-19.28	-17.9	-25.39
10	5.41E+09	-5.05	-6.58	-11.55	-10.52	-17.37
11	5.46E+09	-3.26	-4.70	-7.62	-6.81	-10.29
12	5.50E+09	-2.17	-3.49	-5.14	-4.53	-6.72
13	5.55E+09	-1.84	-3.01	-4	-3.61	-5.35
14	5.59E+09	-2.16	-3.07	-3.52	-3.26	-4.94
15	5.64E+09	-2.96	-3.73	-3.79	-3.61	-5.41
16	5.68E+09	-4.36	-4.64	-4.43	-4.15	-6.12
17	5.73E+09	-6.90	-6.90	-6.14	-5.76	-7.63
18	5.77E+09	-11.03	-10.40	-9.21	-8.35	-10.41
19	5.82E+09	-21.92	-19.02	-14.41	-12.64	-13.98
20	5.86E+09	-20.77	-24.10	-31.24	-21.54	-21.07
21	5.91E+09	-12.77	-15.55	-24.38	-46.59	-34.07
22	5.95E+09	-9.17	-12.84	-18.6	-23.49	-29.23
23	6.00E+09	-6.54	-10.26	-17.16	-18.95	-25.83
24	6.04E+09	-5.10	-9.45	-17.37	-17.4	-24.91
25	6.09E+09	-4.41	-7.98	-16.45	-14.28	-42.22
26	6.13E+09	-4.31	-7.85	-14.82	-12.14	-44.08
27	6.18E+09	-4.57	-7.45	-12.62	-9.94	-38.74
28	6.22E+09	-5.43	-7.77	-10	-7.84	-23.55
29	6.27E+09	-7.21	-8.71	-8.98	-7.24	-18.90
30	6.31E+09	-10.29	-10.60	-8.23	-7.16	-15.37
31	6.36E+09	-15.86	-12.96	-8.12	-7.73	-13.02
32	6.40E+09	-43.21	-17.52	-8.68	-9.43	-11.25
33	6.45E+09	-14.47	-36.65	-11.47	-14.35	-11.53
34	6.49E+09	-8.64	-18.42	-17.44	-35.65	-13.82
35	6.54E+09	-5.70	-11.67	-31.18	-14.8	-18.18
36	6.58E+09	-4.38	-9.29	-15.97	-9.57	-30.41

37	6.63E+09	-3.65	-7.54	-11.11	-6.64	-23.12
38	6.67E+09	-2.85	-5.85	-7.35	-4.28	-12.67
39	6.72E+09	-2.37	-4.52	-4.94	-2.66	-8.04
40	6.76E+09	-2.66	-4.14	-3.83	-2.19	-5.69
41	6.81E+09	-3.64	-4.42	-3.72	-2.53	-4.98
42	6.85E+09	-5.15	-4.87	-3.79	-3.11	-4.56
43	6.90E+09	-7.60	-5.73	-4.33	-4.39	-4.59
44	6.94E+09	-11.40	-7.27	-5.54	-6.4	-5.44
45	6.99E+09	-19.66	-10.31	-7.92	-9.85	-7.38
46	7.03E+09	-22.59	-15.44	-11.7	-15.74	-10.20
47	7.08E+09	-12.01	-49.32	-19.86	-37.43	-14.94
48	7.12E+09	-8.45	-17.33	-26.07	-16.16	-27.19
49	7.17E+09	-6.39	-11.97	-16.07	-11.51	-25.45
50	7.21E+09	-4.63	-8.09	-10.63	-7.83	-14.90
51	7.26E+09	-3.82	-6.27	-8.3	-6.07	-11.23
52	7.30E+09	-3.99	-5.88	-7.75	-5.73	-10.45
53	7.35E+09	-4.87	-6.39	-8.4	-6.34	-11.40
54	7.39E+09	-6.27	-6.99	-8.69	-6.9	-12.11
55	7.44E+09	-8.64	-8.34	-9.71	-8.34	-13.49
56	7.48E+09	-12.18	-9.60	-10.78	-9.73	-15.11
57	7.53E+09	-21.96	-12.01	-11.93	-11.47	-15.98
58	7.57E+09	-17.92	-17.79	-14.05	-15.08	-16.26
59	7.62E+09	-9.92	-36.14	-18.3	-24.24	-16.20
60	7.66E+09	-6.76	-16.59	-29.37	-25.69	-16.89
61	7.71E+09	-4.61	-10.57	-20.48	-14.05	-21.39
62	7.75E+09	-3.02	-7.11	-12.59	-9.28	-36.80
63	7.80E+09	-2.28	-5.16	-9.01	-6.72	-18.83
64	7.84E+09	-2.29	-4.29	-7.33	-5.52	-14.45
65	7.89E+09	-2.69	-3.74	-6.1	-4.7	-11.40
66	7.93E+09	-3.64	-3.39	-4.76	-3.86	-8.28
67	7.98E+09	-4.97	-3.74	-4.43	-3.91	-6.92
68	8.02E+09	-7.01	-4.69	-4.97	-4.72	-6.92
69	8.07E+09	-10.12	-6.34	-5.9	-6.06	-7.51
70	8.11E+09	-15.65	-8.73	-7.17	-7.88	-8.00
71	8.16E+09	-39.33	-11.87	-8.48	-10.07	-8.22
72	8.20E+09	-17.08	-18.56	-10.76	-14.07	-8.85
73	8.25E+09	-10.17	-25.95	-16.04	-26.39	-10.81
74	8.29E+09	-6.41	-12.80	-42.95	-18.5	-14.24
75	8.34E+09	-4.84	-8.83	-18.25	-12.02	-19.77
76	8.38E+09	-4.17	-7.17	-13.73	-9.62	-27.24
77	8.43E+09	-3.60	-5.45	-9.82	-7.13	-24.32

78	8.47E+09	-3.40	-4.12	-6.73	-5.09	-13.46
79	8.52E+09	-3.97	-3.82	-5.29	-4.17	-9.51
80	8.56E+09	-5.71	-4.39	-4.85	-4.2	-7.83
81	8.61E+09	-9.42	-5.78	-4.9	-4.76	-6.78
82	8.65E+09	-16.25	-8.13	-5.59	-6.29	-5.89
83	8.70E+09	-47.29	-11.60	-7.06	-8.74	-5.88
84	8.74E+09	-15.14	-18.49	-9.47	-12.75	-6.72
85	8.79E+09	-8.25	-21.13	-16.12	-31.66	-9.26
86	8.83E+09	-4.91	-10.37	-23.86	-13.94	-15.63
87	8.88E+09	-3.62	-7.05	-12.51	-8.83	-52.31
88	8.92E+09	-3.07	-5.43	-8.82	-6.5	-18.83
89	8.97E+09	-3.35	-4.10	-6.35	-4.65	-12.09
90	9.01E+09	-6.06	-3.39	-4.13	-3.24	-7.40
91	9.06E+09	-6.00	-4.41	-3.75	-3.4	-4.97
92	9.10E+09	-3.11	-3.20	-4.64	-2.63	-4.02
93	9.15E+09	-5.13	-3.82	-2.61	-3.02	-2.96
94	9.19E+09	-9.32	-6.21	-4.44	-5.39	-4.13
95	9.24E+09	-16.59	-9.79	-7.03	-8.73	-6.47
96	9.28E+09	-22.78	-18.34	-12.32	-16.05	-10.40
97	9.33E+09	-10.81	-20.59	-28.18	-24.86	-19.11
98	9.37E+09	-6.41	-10.78	-15.91	-11.77	-23.95
99	9.42E+09	-4.25	-7.03	-9.61	-7.57	-13.34
100	9.46E+09	-3.21	-5.22	-7.05	-5.6	-10.12
101	9.51E+09	-3.04	-4.54	-5.98	-4.82	-8.56
102	9.55E+09	-3.84	-4.70	-6.23	-5.24	-8.87
103	9.60E+09	-6.02	-6.25	-8.08	-7.08	-11.23
104	9.64E+09	-11.60	-9.92	-13.21	-11.89	-19.03
105	9.69E+09	-41.00	-15.49	-22.25	-20.06	-28.97
106	9.73E+09	-14.61	-36.54	-28.67	-29.01	-18.63
107	9.78E+09	-9.79	-18.94	-18.58	-17.85	-16.20
108	9.82E+09	-5.85	-11.77	-18.15	-16.99	-17.02
109	9.87E+09	-3.73	-7.17	-19.08	-10.83	-24.96
110	9.91E+09	-3.47	-5.01	-12.76	-7.73	-37.16
111	9.96E+09	-6.41	-5.80	-11.42	-7.4	-22.92
112	1.00E+10	-27.17	-24.44	-21.94	-40.21	-33.11

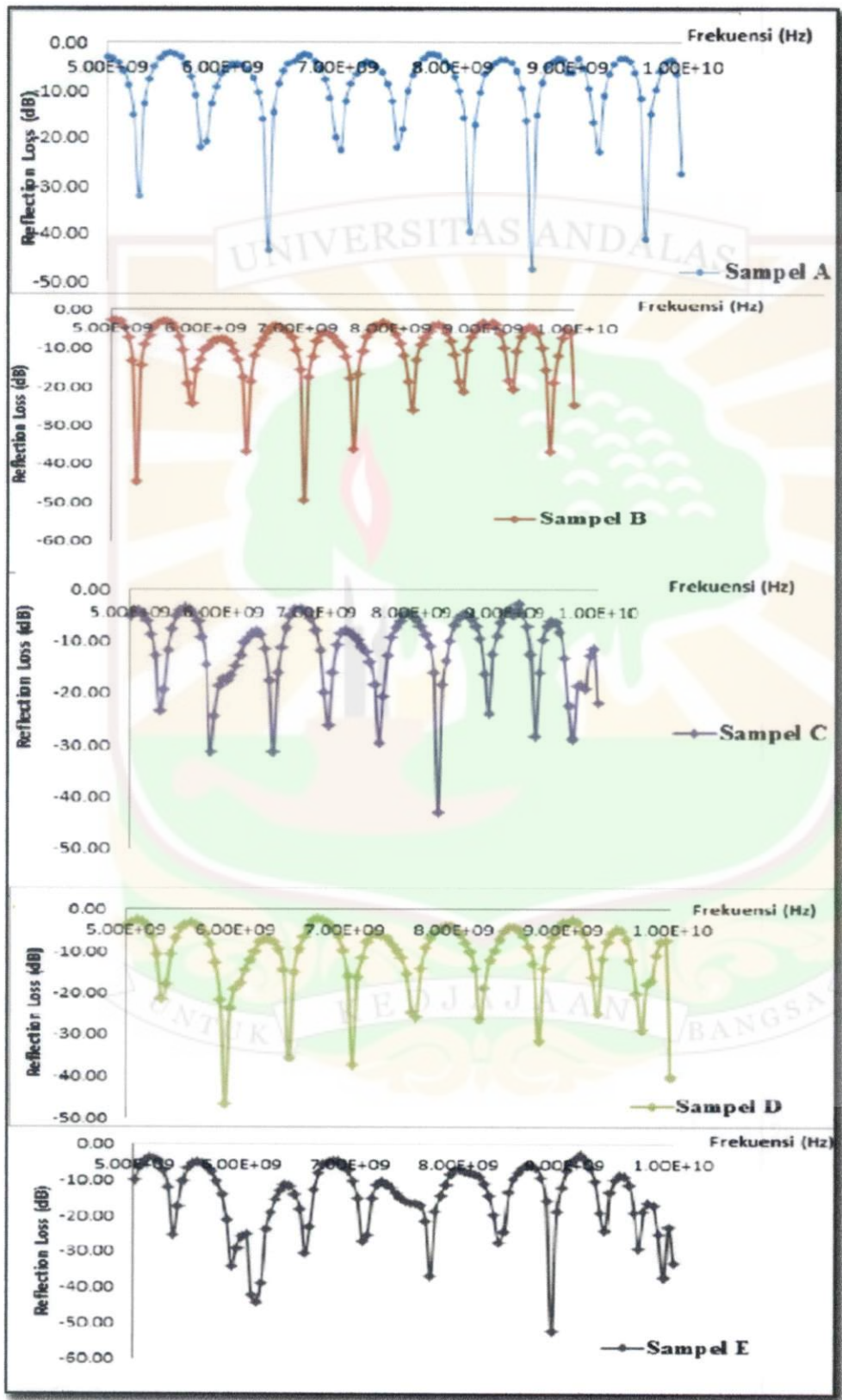
Lampiran 5. Nilai Absorbsi Masing-masing Sampel

No	Frekuensi (Hz)	Absorbsi (%)				
		A	B	C	D	E
1	5.01E+09	47.18	42.35	56.83	54.13	80.53
2	5.05E+09	49.09	36.83	44.38	39.21	60.75
3	5.10E+09	58.26	42.97	43.55	33.94	46.85
4	5.14E+09	70.38	54.25	48.35	34.61	34.60
5	5.19E+09	83.68	71.12	57.89	43.34	29.22
6	5.23E+09	94.58	86.55	71.57	61.20	37.83
7	5.28E+09	98.11	93.18	83.49	78.13	53.81
8	5.32E+09	93.34	91.72	90.54	88.34	67.76
9	5.37E+09	81.73	84.71	93.15	91.26	80.90
10	5.41E+09	68.23	77.01	89.38	86.79	84.29
11	5.46E+09	52.68	66.06	81.65	77.93	84.22
12	5.50E+09	39.32	55.14	69.15	64.75	76.53
13	5.55E+09	34.28	48.74	59.88	55.80	70.78
14	5.59E+09	38.12	47.3	53.17	49.27	66.20
15	5.64E+09	46.89	51.22	52.80	48.88	65.38
16	5.68E+09	58.65	54.37	51.68	46.19	61.26
17	5.73E+09	72.28	63.97	57.55	51.66	60.12
18	5.77E+09	82.31	68.32	60.50	54.49	59.70
19	5.82E+09	88.53	71.81	60.87	57.24	55.58
20	5.86E+09	89.30	69.25	58.96	58.72	52.57
21	5.91E+09	87.69	69.44	56.60	60.31	51.16
22	5.95E+09	83.65	75.27	59.67	66.72	51.71
23	6.00E+09	75.88	80.4	67.82	76.07	56.31
24	6.04E+09	68.64	86.82	82.42	88.44	67.84
25	6.09E+09	63.75	84.07	91.22	93.52	79.95
26	6.13E+09	62.29	80.54	96.23	93.85	91.98
27	6.18E+09	62.94	72.6	92.86	85.81	99.18
28	6.22E+09	67.34	68.14	82.17	72.64	98.73
29	6.27E+09	74.49	64.72	66.90	58.60	90.19
30	6.31E+09	82.91	67.87	55.13	51.11	76.99
31	6.36E+09	88.41	69.33	41.78	42.91	58.41
32	6.40E+09	91.93	76.52	41.16	48.51	43.45
33	6.45E+09	88.42	78.91	44.98	54.58	32.91
34	6.49E+09	79.81	81.25	51.28	60.41	27.60
35	6.54E+09	68.70	82.03	65.11	68.81	34.52
36	6.58E+09	60.06	79.88	70.33	67.54	44.70

37	6.63E+09	54.82	78.03	74.80	65.47	55.46
38	6.67E+09	46.97	71.71	71.16	55.27	63.65
39	6.72E+09	41.67	64.06	62.86	42.73	63.78
40	6.76E+09	45.80	61.44	57.57	39.30	64.41
41	6.81E+09	56.68	63.6	57.45	44.13	65.53
42	6.85E+09	69.01	65.96	57.71	49.72	64.90
43	6.90E+09	81.27	69.55	59.50	58.53	63.54
44	6.94E+09	90.04	74.28	63.83	67.01	63.94
45	6.99E+09	94.76	80.52	69.32	74.19	64.97
46	7.03E+09	93.88	84.47	74.40	78.07	65.89
47	7.08E+09	84.76	79.75	68.27	70.39	56.96
48	7.12E+09	76.35	76.53	64.47	65.30	50.77
49	7.17E+09	66.69	70.51	60.33	59.28	46.55
50	7.21E+09	53.01	55.42	44.43	42.68	32.74
51	7.26E+09	48.29	51.88	41.35	38.21	30.63
52	7.30E+09	51.99	53.76	42.36	40.44	33.04
53	7.35E+09	62.69	65.29	56.72	55.05	48.31
54	7.39E+09	73.49	72.24	63.42	63.00	58.60
55	7.44E+09	86.03	84.34	79.00	79.86	75.86
56	7.48E+09	93.84	88.82	89.69	89.08	90.29
57	7.53E+09	98.39	91.33	93.60	92.22	96.69
58	7.57E+09	94.82	90.16	92.88	90.85	96.57
59	7.62E+09	82.75	84.14	85.84	83.62	88.43
60	7.66E+09	69.32	75.34	72.74	71.22	74.29
61	7.71E+09	53.93	65.94	65.81	63.59	64.69
62	7.75E+09	34.47	44.67	41.77	39.17	50.40
63	7.80E+09	26.35	35.89	29.10	28.05	38.51
64	7.84E+09	26.27	28.68	20.20	19.78	32.58
65	7.89E+09	33.16	25.6	8.26	11.52	25.07
66	7.93E+09	48.86	34.01	14.17	20.22	24.79
67	7.98E+09	63.17	43.91	21.11	29.28	26.33
68	8.02E+09	78.72	61.68	45.05	52.45	37.32
69	8.07E+09	90.10	76.04	64.44	70.58	54.01
70	8.11E+09	97.16	86.44	79.28	83.44	71.63
71	8.16E+09	98.78	90.97	85.63	89.25	81.54
72	8.20E+09	94.73	90.99	86.57	89.53	86.92
73	8.25E+09	85.68	88.39	84.76	86.74	87.46
74	8.29E+09	71.05	80.32	80.72	80.09	85.05
75	8.34E+09	58.52	66.01	65.22	63.45	71.60
76	8.38E+09	54.29	63.34	63.83	61.23	67.50
77	8.43E+09	48.01	52.3	51.99	48.49	57.74

78	8.47E+09	47.75	45.95	46.03	41.31	53.23
79	8.52E+09	53.07	43.08	37.57	34.12	43.49
80	8.56E+09	68.19	52.28	39.51	39.37	40.67
81	8.61E+09	85.79	67.18	50.32	53.49	48.27
82	8.65E+09	93.98	76.4	52.08	60.80	39.93
83	8.70E+09	98.87	90.29	70.01	79.87	50.73
84	8.74E+09	96.32	97.24	83.96	91.72	66.69
85	8.79E+09	84.63	98.24	93.57	97.59	77.58
86	8.83E+09	67.74	90.81	98.95	95.79	93.66
87	8.88E+09	56.47	80.16	94.37	86.86	99.02
88	8.92E+09	49.76	70.1	86.10	76.23	98.66
89	8.97E+09	51.66	58.57	74.21	62.61	92.75
90	9.01E+09	69.25	48.64	55.34	45.18	78.23
91	9.06E+09	71.59	51.99	37.14	32.96	52.04
92	9.10E+09	49.29	46.21	54.84	38.42	44.40
93	9.15E+09	64.51	46.14	30.95	37.13	31.80
94	9.19E+09	82.00	60.17	39.00	50.26	40.68
95	9.24E+09	91.86	75.59	58.30	67.94	54.60
96	9.28E+09	89.74	76.35	59.33	68.56	55.17
97	9.33E+09	83.35	80.03	65.04	71.37	56.96
98	9.37E+09	69.81	75.08	68.28	69.82	64.16
99	9.42E+09	56.17	64.83	58.79	58.81	56.32
100	9.46E+09	49.36	62.19	60.93	58.22	60.17
101	9.51E+09	49.71	62.18	63.24	58.99	62.25
102	9.55E+09	57.82	65.57	75.02	69.83	76.38
103	9.60E+09	71.83	71.4	83.27	78.42	91.63
104	9.64E+09	83.03	73.98	88.02	84.49	98.46
105	9.69E+09	86.08	66.93	72.37	69.09	92.05
106	9.73E+09	82.18	64.22	58.13	56.45	73.23
107	9.78E+09	75.81	61.76	44.73	44.04	54.32
108	9.82E+09	63.81	62.1	42.81	49.43	40.12
109	9.87E+09	52.78	63.92	46.06	52.32	37.13
110	9.91E+09	53.34	62.7	60.37	62.13	48.31
111	9.96E+09	77.10	73.66	79.22	76.01	55.49
112	1.00E+10	99.44	94.62	99.17	99.52	80.62

Lampiran 6. Grafik Hubungan *Reflection Loss* dan Frekuensi



Lampiran 7. Grafik Hubungan Absorpsi dan Frekuensi

